



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

# **ANALISA UJI KELAYAKAN SISTEM PENJEJAK MATAHARI 2-AXIS 5-POSISI DENGAN MENGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**

**DWITYO NAUFAL IMANULLAH**  
**NRP. 2413 100 094**

**Dosen Pembimbing :**  
**Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.**  
**Arief Abdurrahman S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA**  
**Fakultas Teknologi Industri**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2017**





FINAL PROJECT - TF 141581

***ANALYSIS OF FEASIBILITY STUDY OF SOLAR  
TRACKING SYSTEM 2-AXIS 5-POSITION  
USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION***

*DWITYO NAUFAL IMANULLAH  
NRP. 2413 100 094*

*Supervisors :  
Dr. Imam Abadi S.T., M.T.  
Arief Abdurrakhman S.T., M.T.*

*ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017*



## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

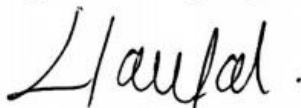
Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dwityo Naufal Imanullah  
NRP : 2413100094  
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisa Uji Kelayakan Sistem Penjejak Matahari 2-axis 5-posisi dengan Menggunakan *Particle Swarm Optimization*” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sangsi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, Juni 2017  
Yang membuat pernyataan,



Dwityo Naufal Imanullah  
NRP. 2413100094



## **TUGAS AKHIR**

# **ANALISA UJI KELAYAKAN SISTEM PENJEJAK MATAHARI 2-AXIS 5-POSISI DENGAN MENGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**

Oleh :

Dwityo Naufal Imanullah

**NRP. 2413 100 094**

**Surabaya, Juli 2017**

**Menyetujui,**

**Dosen Pembimbing I**



**Dr. Imam Abadi, S.T., M.T**

**NIP. 19761006199903 1 002**

**Dosen Pembimbing II**



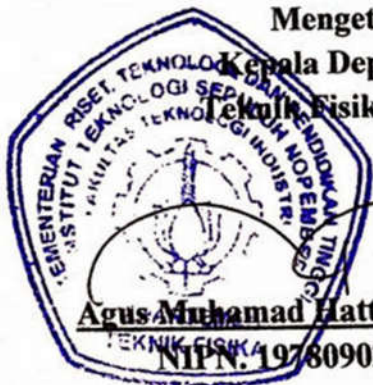
**Arief Abdurrahman, S.T., M.T**

**NIP. 19870712201404 1 002**

**Mengetahui,**

**Kepala Departemen**

**Teknik Fisika FTI-ITS**



**Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.**

**NIP. 19780902 200312 1 002**





**ANALISA UJI KELAYAKAN SISTEM PENJEJAK  
MATAHARI 2-AXIS 5-POSISI DENGAN  
MENGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**



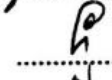
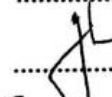

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**DWITYO NAUFAL IMANULLAH**  
**NRP. 2413 100 094**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Dr. Imam Abadi, S.T., M.T. ....  (Pembimbing I)
2. Arief Abdurrahman, S.T., M.T. ....  (Pembimbing II)
3. Hendra Cordova, S.T, M.T. ....  (Penguji I)
4. Ir. Ya'umar, M.T. ....  (Penguji II)
5. Ir. Tutug Dhanardono, M.T. ....  (Penguji III)

**SURABAYA  
JULI 2017**



# **ANALISA UJI KELAYAKAN SISTEM PENJEJAK MATAHARI 2-AXIS 5-POSISI DENGAN MENGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**

**Nama** : Dwityo Naufal Imanullah  
**NRP** : 2413 100 094  
**Departemen** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : 1. Dr. Imam Abadi S.T., M.T.  
2. Arief Abdurrahman S.T., M.T

## **Abstrak**

Photovoltaic(PV) adalah salah satu cara untuk memanfaatkan ketersediaan energi matahari yang berlimpah jumlahnya menjadi energi listrik. Untuk meningkatkan efisiensi yang dihasilkan oleh PV, maka digunakanlah bantuan solar tracker untuk menjejaki pergerakan matahari. Paper ini mengajukan sebuah ide solar tracker yaitu dengan 2-axis dan 3-posisi. Posisi berhenti PV ditentukan dengan metode optimasi Particle Swarm Optimization. Dengan menggunakan data rata - rata radiasi matahari selama 3 bulan, dan setelah dilakukan optimasi, maka didapatkan 5 posisi optimal yaitu pada 30° dan 218° pada pukul 04.00 hingga 09.10, 47° dan 208° pada pukul 09.15 – 10.40, 76° dan 182° pada pukul 10.45-11.55, 111° dan 151° untuk pukul 12.00 – 13.25, dan yang terakhir 143° dan 138° pada pukul 13.30-18.30. Setelah dilakukan pengambilan data real dengan mengarahkan PV pada posisi – posisi tersebut, didapatkan efisiensi dari solar tracker tipe ini adalah sebesar 24,9%

Kata kunci : Photovoltaic, Solar tracker, PSO, 2-axis 5-posisi



# **ANALYSIS OF FEASIBILITY STUDY OF SOLAR TRACKING SYSTEM 2-AXIS 5-POSITION USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**

**Name** : Dwityo Naufal Imanullah  
**NRP** : 2413 10p00 094  
**Department** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Supervisors** : 1. Dr. Imam Abadi S.T., M.T.  
2. Arief Abdurrahman S.T., M.T

## **Abstract**

*Photovoltaic (PV) is one of many ways to make use of the unlimited availability of solar energy as electrical energy. Solar Tracker are used to improve the efficiency of PV by tracking the movement of the sun. This paper proposes a new idea of solar tracker which tracks the sun using 2-axis and 5-position. The stopping position were determined using optimization method Particle Swarm Optimization. By using the average of yearly, 6 monthly, and 3 monthly solar radianse data, then the 5 optimal positions are 30° and 218° in 04:00 until 09.10, 47° and 208° in 09.15 until 10.40, 76° and 182° in 10.45 until 11.55, 111° and 151° in 12.00 until 13.25, 143° and 138° in 13.30 until 18.30. After the real data taken, the efficiency of this type solar tracker is 24,9%*

*Keyword : Photovoltaic, Solar tracker, PSO, 2-axis 5-position*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas karunia, hikmat, dan rahmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir dengan judul:

### **“ANALISA UJI KELAYAKAN SISTEM PENJEJAK MATAHARI 2-AXIS 5-POSISI DENGAN MENGUNAKAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*”**

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak mungkin terwujud tanpa bantuan dari berbagai pihak. Perkenankan penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Agus M. Hatta, S.T. , M.Si, Ph.D selaku kepala departemen Teknik Fisika ITS.
2. Dr. Imam Abadi S.T, M.T. dan Arief Abdurrahman S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis, yang selalu memberikan saran dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di departemen Teknik Fisika - ITS.
4. Kedua orang tua penulis, Agus Dwiatma dan Yeni Eliza yang senantiasa memberikan do'a dan dukungan secara penuh, serta nasihat dan motivasinya.
5. Saudara penulis, Pratama Doni dan Trisa Safira yang telah senantiasa memberikan do'a dan dukungannya.
6. Segenap keluarga besar penulis yang telah memberikan do'a dan dukungannya.
7. Teman-teman seperjuangan dalam mengerjakan tugas akhir yang telah memberikan banyak bantuan dalam penyelesaian tugas akhir.
8. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Fisika - ITS, yang senantiasa memberikan motivasi.

Semoga Allah SWT senantiasa membalas segala amal dan kebaikan pihak-pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini. Penulis juga menyadari bahwa pada tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun akan diterima dengan senang hati. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan berguna bagi penulis, para pembaca, dan pihak-pihak yang membutuhkan.

Penulis.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE PAGE .....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME .....	v
LEMBAR PENGESAHAN I .....	vii
LEMBAR PENGESAHAN II .....	ix
ABSTRAK .....	xi
ABSTRACT .....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI .....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan.....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Manfaat.....	3
BAB II TEORI PENUNJANG.....	5
2.1. Pengertian Photovoltaic .....	5
2.2. Desain Sistem Penjejak Matahari .....	6
2.3. Radiasi Matahari.....	9
2.4. Particle Swarm Optimization.....	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	15
3.1. Studi Literatur.....	16
3.2. Penentuan Lokasi Pengambilan Data .....	17
3.3. Penghitungan Fungsi Optimal Solar Tracker.....	18
3.4. Penentuan Posisi Optimal Solar Tracker .....	19
3.5. Pengambilan Data.....	23
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1. Penentuan Waktu Pergerakan Solar Tracker .....	25
4.2. Penentuan Posisi Optimal Sistem Penjejak Matahari.....	29

4.2.1. Posisi Optimal untuk Data Radiasi Rata – Rata Tahunan .....	30
4.2.2. Posisi Optimal untuk Data Radiasi Rata – Rata Selama 6 Bulan .....	35
4.2.3. Posisi Optimal untuk Data Radiasi Rata – Rata Selama 3 Bulan .....	40
4.3. Analisa Efisiensi Sistem Penjejak Matahari 2-Axis 5-Posisi .....	45
BAB V PENUTUP .....	53
5.1. Kesimpulan .....	53
5.2. Saran .....	53
DAFTAR PUSTAKA .....	55
LAMPIRAN A .....	59
LAMPIRAN B .....	61
LAMPIRAN C .....	63
LAMPIRAN D .....	75

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Mekanik dari sistem tracking 2 axis (S. Seme, Štumberger, & Voršič, 2011)	6
<b>Gambar 2.2</b>	Konsep dari dua axis lima posisi tracking (Sebastijan Seme, Štumberger, & Voršič, 2011)	7
<b>Gambar 2.3</b>	Skematik sensor posisi matahari (B. J. Huang & Sun, 2007)	8
<b>Gambar 2.4</b>	Geometri dari solar cell (Chang, 2009)	9
<b>Gambar 2.5</b>	Vektor posisi dan kecepatan partikel dalam pencarian posisi baru	12
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian pelaksanaan tugas akhir	15
<b>Gambar 3.2</b>	Penentuan sudut lintang dan bujur dari lokasi penelitian menggunakan <i>Google Maps</i>	17
<b>Gambar 3.3</b>	Diagram alir optimasi PSO	20
<b>Gambar 3.4</b>	Skematik posisi PV dengan sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi	24
<b>Gambar 4.1</b>	Rata-rata Radiasi Selama Satu Tahun	25
<b>Gambar 4.2</b>	Rata – rata radiasi selama 6 bulan (Januari - Juni)	27
<b>Gambar 4.3</b>	Rata – rata radiasi selama 3 bulan (April - Juni)	28
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil iterasi PSO posisi pertama dengan data rata – rata selama satu tahun	30
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil iterasi PSO posisi kedua dengan data rata – rata selama satu tahun	31
<b>Gambar 4.6</b>	Hasil iterasi PSO posisi ketiga dengan data rata – rata selama satu tahun	32

<b>Gambar 4.7</b>	Hasil iterasi PSO posisi keempat dengan data rata – rata selama satu tahun	33
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil iterasi PSO posisi kelima dengan data rata – rata selama satu tahun	34
<b>Gambar 4.9</b>	Hasil iterasi PSO posisi pertama dengan data rata – rata selama 6 bulan	35
<b>Gambar 4.10</b>	Hasil iterasi PSO posisi kedua dengan data rata – rata selama 6 bulan	36
<b>Gambar 4.11</b>	Hasil iterasi PSO posisi ketiga dengan data rata – rata selama 6 bulan	37
<b>Gambar 4.12</b>	Hasil iterasi PSO posisi keempat dengan data rata – rata selama 6 bulan	38
<b>Gambar 4.13</b>	Hasil iterasi PSO posisi kelima dengan data rata – rata selama 6 bulan	39
<b>Gambar 4.14</b>	Hasil iterasi PSO posisi pertama dengan data rata – rata selama 3 bulan	40
<b>Gambar 4.15</b>	Hasil iterasi PSO posisi kedua dengan data rata – rata selama 3 bulan	41
<b>Gambar 4.16</b>	Hasil iterasi PSO posisi ketiga dengan data rata – rata selama 3 bulan	42
<b>Gambar 4.17</b>	Hasil iterasi PSO posisi keempat dengan data rata – rata selama 3 bulan	43
<b>Gambar 4.18</b>	Hasil iterasi PSO posisi kelima dengan data rata – rata selama 3 bulan	44
<b>Gambar 4.19</b>	Perbandingan daya dengan <i>tracking</i> dan <i>fixed</i> dengan data radiasi 1 tahun	47
<b>Gambar 4.20</b>	Perbandingan daya dengan <i>tracking</i> dan <i>fixed</i> dengan data radiasi 6 bulan	49
<b>Gambar 4.21</b>	Perbandingan daya dengan <i>tracking</i> dan <i>fixed</i> dengan data radiasi 3 bulan	51

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Parameter atmosfer untuk tiap jenis iklim	11
<b>Tabel 3.1</b>	Lokasi Pengambilan Data	18
<b>Tabel 3.2</b>	Variabel konstan pada fungsi radiasi Matlab	19
<b>Tabel 4.1</b>	Waktu pergerakan sistem penjejak matahari (data radiasi rata – rata selama satu tahun)	26
<b>Tabel 4.2</b>	Waktu pergerakan sistem penjejak matahari (data radiasi rata – rata selama 6 bulan)	28
<b>Tabel 4.3</b>	Waktu pergerakan sistem penjejak matahari (data radiasi rata – rata selama 3 bulan)	29
<b>Tabel 4.4</b>	Posisi sudut optimal untuk tiap posisi dengan data rata-rata radiasi tahunan	34
<b>Tabel 4.5</b>	Posisi sudut optimal untuk tiap posisi dengan data rata-rata radiasi tahunan	39
<b>Tabel 4.6</b>	Posisi sudut optimal untuk tiap posisi dengan data rata-rata radiasi tahunan	44
<b>Tabel 4.7</b>	Daya keluaran PV tanpa <i>tracking</i>	45
<b>Tabel 4.8</b>	Daya keluaran PV <i>Tracking</i> rata-rata radiasi 1 tahun	46
<b>Tabel 4.9</b>	Daya keluaran PV <i>Tracking</i> rata-rata radiasi 6 bulan	48
<b>Tabel 4.10</b>	Daya keluaran PV <i>Tracking</i> rata-rata radiasi 3 bulan	50



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Solar cell merupakan salah satu cara untuk memanfaatkan energi matahari yang berlimpah saat ini (Parida, Iniyana, & Goic, 2011). Peningkatan efisiensi *solar cell* telah mencapai titik maksimum yaitu dengan peningkatan menggunakan material baru ataupun proses manufaktur yang baru hanya akan meningkatkan sekitar 15 – 19% (B.-J. Huang, Huang, Chen, Hsu, & Li, 2013). Peningkatan daya keluaran solar PV dapat ditingkatkan dengan menggunakan teknologi sistem penjejak matahari. Namun desain dari sistem penjejak matahari biasanya sangat rumit dan memerlukan biaya yang besar (B. J. Huang, Ding, & Huang, 2011).

Untuk meningkatkan daya keluaran dari solar PV dapat menggunakan sistem penjejak matahari. Penggunaan *solar tracker* yang akurat dapat memberikan dampak yang sangat signifikan. Banyak metode yang digunakan untuk menjejak lintasan dari matahari. Metode tersebut antara lain *single axis open loop* (Kalogirou, 1996), *dual axis closed loop* (Lynch & Salameh, 1990), atau metode lainnya telah banyak diajukan oleh peneliti.

Sistem penjejak matahari yang telah ada tidak lepas dari kelemahan-kelemahan yang dimilikinya. Kelemahan utama dari sistem penjejak matahari konvensional adalah dibutuhkan *tracking* yang kontinu menggunakan *feedback* ataupun *open loop control*. *Tracker* biasanya di desain dalam skala yang besar agar dapat menampung banyak modul PV yang menyebabkan struktur menjadi berat, rumit, dan sulit pemasangannya (B. J. Huang & Sun, 2007).

Beberapa penelitian sudah dilakukan untuk meningkatkan daya keluaran dari sistem penjejak matahari dengan 1-axis ataupun 2-axis. Kacira menunjukkan efek dari penggunaan 2-axis *solar tracker* pada kota Sanliurfa, Turki dan mendapatkan peningkatan sebesar 29.3% pada penerimaan radiasi solar dan 34.6% pada daya keluaran (Kacira, Simsek, Babur, & Demirkol, 2004). Mazen

menunjukkan efek penggunaan *solar tracker* 2 axis pada Jordan dan mendapatkan peningkatan daya keluaran sebesar 30 – 45% dibandingkan dengan solar PV *fixed* (Abu-Khader, Badran, & Abdallah, 2008), dan juga penjajakan 2 sumbu dengan logika *fuzzy* berbasis *Particle Swarm Optimization* (Abadi, 2016)

Pada tugas akhir ini, penulis mengajukan sebuah desain baru dari sebuah *solar tracker* yaitu dengan menggunakan *solar tracker* 2-axis 5-posisi.

## 1.2. Permasalahan

Masalah penelitian yang diangkat pada topik tugas akhir ini berdasarkan latar belakang penelitian adalah sebagai berikut

- Berapakah besar sudut untuk posisi paling optimal dari sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi?
- Berapakah peningkatan efisiensi dari PV yang menggunakan sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi dibandingkan PV tanpa menggunakan sistem penjejak matahari?

## 1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan ruang lingkup dari tugas akhir ini adalah.

- *Solar cell* yang digunakan adalah hasil dari penelitian sebelumnya
- Penelitian hanya dilakukan pada kota Surabaya
- Penelitian dijalankan pada 17 Juni 2017 dari pukul 08.00 hingga 16.00
- Photovoltaic digerakkan secara manual

## 1.4. Tujuan

Berdasarkan pemaparan latar belakang dan permasalahan maka tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah.

- Menentukan dimana posisi optimal dari sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi
- Menentukan besar peningkatan efisiensi dari PV yang menggunakan sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi dibandingkan PV yang tanpa sistem penjejak matahari



### **1.5. Sistematika Laporan**

Sistematika laporan yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisikan tentang latar belakan, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, sistematika laporan, dan manfaat.

#### **BAB II DASAR TEORI**

Berisi tentang pengertian *photovoltaic*, uji kelayakan, dan *Particle Swarm Optimization*, serta desain dari sistem penjejak matahari.

#### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Menjelaskan langkah – langkah penentuan posisi optimal dari sistem penjejak matahari.

#### **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Berisikan tentang analisis data hasil dari pengujian secara real sistem penjejak matahari.

#### **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi mengenai kesimpulan utama dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan dan juga berisi saran yang dapat dijadikan masukan untuk penelitian selanjutnya

### **1.6. Manfaat**

Manfaat yang dapat diambil dari adanya dan dilaksanakannya penelitian ini adalah diketahuinya tingkatan efisiensi sistem penjejak matahari non kontinu dan bisa digunakan sebagai perbandingan besarnya *loss* yang ditimbulkan oleh sistem penjejak matahari konvensional.



## BAB II TEORI PENUNJANG

### 2.1. Pengertian Photovoltaic

*Photovoltaic* merupakan suatu devais yang terbuat dari material semikonduktor yang mampu mentransfer energi radiasi matahari menjadi energi listrik (Abadi, 2016). *Photovoltaic (solar cell)* bekerja menggunakan prinsip efek fotolistrik yang pertama kali ditemukan oleh Henry Becqueler pada tahun 1839 yang bereksperimen pada sel elektrolit yang terbuat dari dua elektroda logam (Zweibel & Hersch, 1984).

Modul dari suatu Photovoltaic (PV) terdiri atas beberapa *solar cell* yang tersusun secara seri. Masing-masing *solar cell* mampu menghasilkan tegangan listrik 0.5 sampai 0.6 Volt. Apabila suatu PV terdiri atas 32 sampai 34 *solar cell*, maka tegangan dapat dihasilkan sebesar kurang lebih 18 Volt (Saputra, 2008).



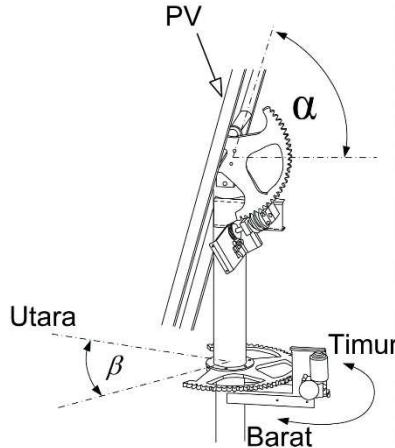
**Gambar 2.1** Modul Photovoltaic

Photovoltaic memiliki kelebihan dibandingkan bahan bakar fosil atau bahan bakar lainnya yaitu PV tidak memerlukan bahan bakar minyak dan tidak menghasilkan gas emisi selama beroperasi. Setiap modul PV juga dipercaya memiliki *reliability* yang baik dan mampu bertahan hingga 10-20 tahun beroperasi. Juga sifat dari PV yang modular memungkinkan untuk ditambahkan ketika kebutuhan meningkat (Saputra, 2008).

Dibalik keuntungan-keuntungan tersebut, PV juga memiliki kekurangan yaitu kebutuhannya pada matahari. Keberadaan matahari dalam sehari sangat terbatas apalagi ketika cuaca mendung ataupun hujan. Juga tegangan yang dihasilkan berupa DC dan untuk mengubahnya menjadi 240V AC dibutuhkan komponen-komponen yang bisa meningkatkan biaya operasional dan juga biaya pemasangan awalnya yang lebih mahal (Saputra, 2008).

## 2.2. Desain Sistem Penjejak Matahari

Sistem *sun tracker* konvensional membutuhkan *feedback* dan *open loop control*. Juga *tracker-tracker* tersebut biasanya diciptakan dalam skala besar yang bertujuan agar dapat memasukkan banyak modul PV ke dalamnya. Karena desain tersebut, PV tersebut menjadi sangat berat, rumit, dan pemasangannya yang sulit. Desain yang diajukan adalah sebuah jenis PV baru yang memiliki 5 posisi pada pagi, siang, dan sore hari. Desain *tracker* ini kita sebut “dua axis lima posisi *sun tracking* PV”.

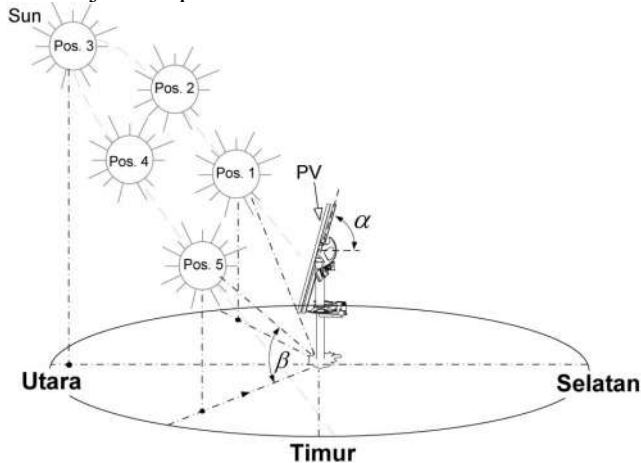


**Gambar 2.2** Mekanik dari sistem tracking 2 axis (S. Seme, Štumberger, & Voršič, 2011)

Gambar 2.2 adalah mekanik dari sistem 2 axis 5 posisi. Mekanisme terdiri atas sebuah tiang penyangga, platform yang

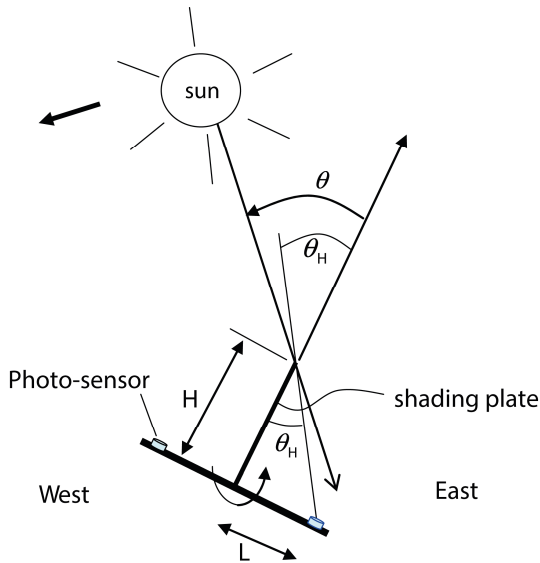
dapat diubah kemiringan dan arahnya, PV yang digerakkan motor dan sensor posisi matahari.

Terdapat 5 *switch* pada *transmission gear* dari PV untuk sinyal *output* menuju rangkaian pengontrol. PV akan berhenti ketika *switch* menyentuh *switch* berikutnya ketika di *trigger*. Lokasi dari *switch* tersebut menentukan sudut berhenti. Gambar 2.3 menunjukkan posisi berhenti dari *tracker*.



**Gambar 2.3** Konsep dari dua axis lima posisi tracking  
(Sebastijan Seme, Štumberger, & Voršič, 2011)

Sensor posisi matahari terdiri atas 2 buah elemen *photosensing* yang dipisahkan oleh sebuah *vertical shading plate* (Gambar 2.3). Posisi matahari akan menghasilkan bayangan pada salah satu elemen *photosensing*. Rangkaian kemudian akan mendeteksi sinyal dan posisi relatif matahari juga menggerakkan motor untuk berpindah menuju posisi berikutnya.



**Gambar 2.4** Skematik sensor posisi matahari (B. J. Huang & Sun, 2007)

Desain dari sensor posisi matahari (Gambar 2.4) dapat menentukan waktu PV untuk berpindah menuju posisi selanjutnya. Ketinggian dari *shading plate* ( $H$ ) dan jarak dari elemen photosensing dari *shading plate* ( $L$ ) akan menentukan waktu perubahan. Ketika PV di trigger oleh sinyal sensor, reangkaian kontrol akan menggerakkan PV dan berhenti pada posisi selanjutnya.

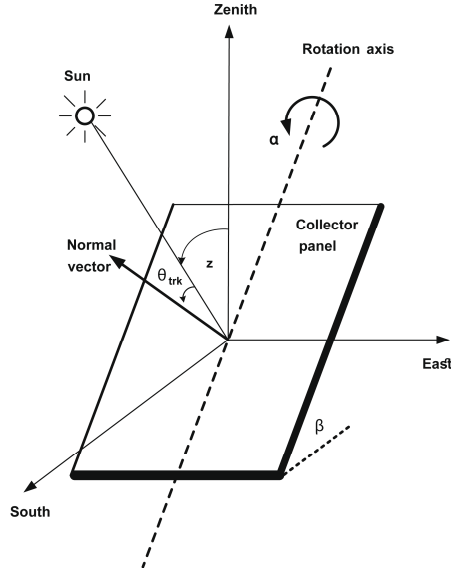
Performa dari 2 axis 5 posisi *solar tracker* ini bergantung pada beberapa hal, yaitu sudut kemiringan PV ( $\alpha$ ), sudut berhenti ( $\beta$ ), *error* pemasangan ( $\gamma$ ) terhadap arah selatan, dan juga sudut perubahan dari sensor ( $\theta_H$ ). Sudut  $\theta_H$  dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan trigonometri

$$\theta_H = \tan^{-1}(L/H) \quad (2.1)$$

Yang kemudian harus ditentukan adalah berapa sudut kemiringan  $\alpha$  dan juga sudut berhenti  $\beta$  paling optimal yang mampu menghasilkan daya listrik atau untuk menerima sinar

matahari terbesar dengan sudut perubahan  $\theta_H$  dan dengan error pemasangan  $\gamma$ .

### 2.3. Radiasi Matahari



**Gambar 2.5.** Geometri dari solar cell (Chang, 2009)

Radiasi yang diterima oleh *solar cell* yang dimiringkan pada sudut  $\alpha$  dipengaruhi oleh 3 komponen, yaitu sinar langsung, difusi, dan pantulan dari tanah. Gabungan dari ketiga komponen tersebut disebut sebagai radiasi global ( $I_t$ ) dan dapat dihitung dengan (Liu & Jordan, 1963)

$$I_t = I_{cb}R_b + I_{cd} \frac{(1 + \cos \lambda)}{2} + I_{cp} \frac{(1 - \cos \lambda)}{2} \quad (2.2)$$

$R_b$  adalah faktor geometrik. Nilai  $R_b$  dapat ditentukan dengan.

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (2.3)$$

$\theta$  adalah sudut antara sinar matahari dengan garis normal PV. Dan  $\theta_z$  adalah sudut zenith.

$$\begin{aligned}
& \cos \theta \\
&= \sin \alpha \cos \beta \sin \phi \cos \gamma \cos \delta \cos \omega \\
&\quad \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma \cos \phi \sin \delta \\
&\quad \sin \beta \sin \gamma \sin \phi \cos \delta \cos \omega \\
&+ \sin \beta \sin \gamma \cos \phi \sin \delta \\
&+ \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma \cos \delta \sin \omega \\
&+ \sin \beta \cos \gamma \cos \delta \sin \omega \\
&+ \cos \alpha \cos \beta \sin \phi \sin \delta \\
&+ \cos \alpha \cos \beta \cos \phi \cos \delta \sin \omega
\end{aligned} \tag{2.4}$$

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \tag{2.5}$$

Dimana  $\phi$  adalah sudut latitude (lintang) dari lokasi penelitian,  $\omega$  adalah solar hour yang berubah  $15^\circ$  setiap jam (0 saat siang, negatif di pagi hari, dan positif di sore hari), dan  $\gamma$  adalah besar sudut *error* pemasangan PV. Nilai  $\lambda$  ditentukan dengan

$$\cos \lambda = \cos \alpha \cos \beta \tag{2.6}$$

$\delta$  adalah solar declination, yaitu pusat dari gabungan antara pusat matahari, bumi, dan sumbu ekuator.

$$\delta = 23,45 \sin \left( 2\pi \frac{284 + n}{365,25} \right) \tag{2.7}$$

$n$  adalah hari ke berapa dalam satu tahun (berkisar antara 1 365).  $\rho$  adalah koefisien pantulan ground yang bernilai 0,2 untuk ground yang terbebas dari salju dan 0,7 untuk ground yang dipenuhi salju.

$I_c$  dari persamaan 2 adalah radiasi udara cerah pada layar horizontal.  $I_c$  merupakan penjumlahan dari  $I_{cb}$  dan  $I_{cd}$ .

$$I_c = I_{cb} + I_{cd} \tag{2.8}$$

$I_{cb}$  adalah radiasi sinar pada udara cerah dan dapat dihitung menggunakan (Hottel, 1976)

$$I_{cb} = I_0 \tau_b \cos \theta_z \tag{2.9}$$

Dimana  $\tau_d$  adalah transmitansi dari radiasi sinar dan sama dengan rasio antara radiasi sinar dan sama dengan rasio antara radiasi sinar pada layar horizontal ( $G_b$ ) dan air mass zero (AM0) radiasi *extraterrestrial* ( $G_o$ ).



$$\tau_b = G_b/G_o \quad (2.10)$$

Dan dapat ditulis secara empiris menjadi

$$\tau_b = a_0 + a_1 e^{-\frac{k}{\cos \theta_z}} \quad (2.11)$$

Konstanta  $a_0 = r_0 a_0$ ,  $a_1 = r_1 a_1$ , dan  $k = r_k k$  (untuk atmosfer dengan jarak pandang 23km dan dengan menganggap altitude pengamat di bawah 2,5 km) dapat dihitung dengan

$$\begin{aligned} a_0 &= 0,4237 - 0,00821 (6,0 - H)^2 \\ a_1 &= 0,5055 + 0,00595 (6,0 - H)^2 \\ k &= 0,2711 + 0,01858 (6,0 - H)^2 \end{aligned} \quad (2.12)$$

$H$  adalah altitude dari pengamat dalam kilometer. Parameter  $r_0, r_1$ , dan  $r_k$  berhubungan dengan iklim dan nilainya terdapat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Parameter atmosfer untuk tiap jenis iklim (B. J. Huang & Sun, 2007)

Tipe Iklim	$r_0$	$r_1$	$r_k$
Tropis	0,95	0,98	1,02
<i>Mid-latitude Summer</i>	0,97	0,99	1,02
<i>Sub-arctic summer</i>	0,99	0,99	1,01
<i>Mid-latitude winter</i>	1,03	1,01	1,00

Besarnya  $I_o$  dapat diketahui dari

$$\begin{aligned} I_o = \int G_o dt = \int S_c \left( 1 \right. \\ \left. + 0,033 \cos \left( 2\pi \frac{dn}{365,25} \right) \right) dt \end{aligned} \quad (2.13)$$

$S_c$  adalah konstanta solar ( $1367 \text{ W/m}^2$ ). Komponen difusi pada udara cerah ( $I_{cd}$ ) dapat diestimasikan melalui model (Liu & Jordan, 1960)

$$I_{cd} = I_o \tau_d \cos \theta_z \quad (2.14)$$

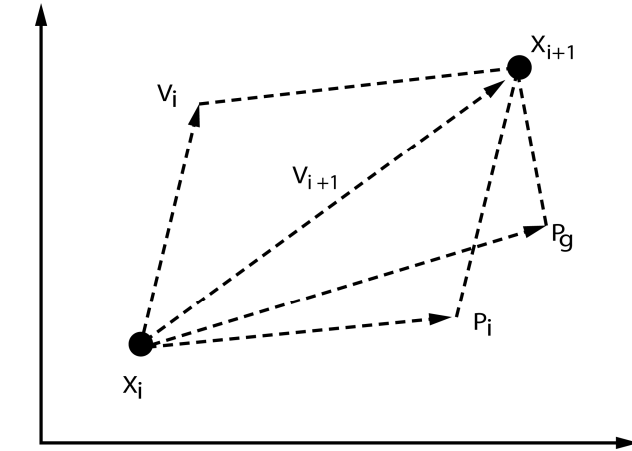
$$\tau_d = 0,2710 - 0,2939 \tau_b \quad (2.15)$$

$\tau_d$  adalah transmisi atmosfer dari radiasi difusi.

## 2.4. Particle Swarm Optimization

*Particle Swarm Optimization* (PSO) merupakan salah satu teknik optimasi yang dikemukakan oleh Kennedy dan Eberhart yang terinspirasi oleh pola kehidupan binatang yang hidup dan berinteraksi secara bersama-sama. Metode ini menentukan arah dan kecepatan dari setiap partikel. Setiap partikel kemudian bergerak mengikuti vektor kecepatan yang ditentukan oleh arah dan kecepatan partikel lain di sekitarnya. Seberapa besar pengaruh partikel terhadap partikel lain ditentukan oleh fungsi objektifnya. Proses ini terus berulang hingga ditemukannya kondisi yang diharapkan. Pada Gambar 2.6 dapat dilihat posisi dan kecepatan partikel. Vektor posisi dan kecepatan dapat di tuliskan sebagai  $X_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN}]$  dan  $V_i = [v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iN}]$  (Kennedy & Eberhart, 1995). Fungsi obyektif ( $\varepsilon$ ) yang digunakan adalah jumlah energi yang ditangkap *solar cell*.

$$\varepsilon = \text{Max}(I_t) \quad (2.16)$$



**Gambar 2.6** Vektor posisi dan kecepatan partikel dalam pencarian posisi baru

Posisi dari partikel menunjukkan nilai dari  $\beta$  dan sudut azimuth  $a_w$  dari *solar cell* karena kedua variabel ini adalah yang dicari menggunakan metode optimasi ini. Sementara variabel lain seperti waktu uji, *latitude* lokasi pengujian, parameter atmosfer,

dan lain sebagainya sudah tersedia dalam tugas akhir ini. Mengacu kepada fungsi obyektifnya, posisi terbaik dari partikel ke- $i$  (*local best*) adalah  $P_i = [P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{iN}]$  dan posisi partikel terbaik yang telah ada (*global best*) adalah  $P_g = [P_{g1}, P_{g2}, \dots, P_{gN}]$ . Kecepatan baru dan posisi teranyar mengikuti persamaan:

$$V_{i,N+1} = v_{iN} + c_1 \times rand_1() \times (p_{iN} - x_{iN}) + c_2 \times rand_2() \times (P_{gN} - x_{iN}) \quad (2.17)$$

$$x_{i,N+1} = x_{iN} + v_{iN} \quad (2.18)$$

Dimana  $c_1$  dan  $c_2$  adalah koefisien akselerasi kognitif dan parameter sosial.  $rand_1()$  dan  $rand_2()$  adalah bilangan acak berkisar antara  $[0,1]$ .

Langkah – langkah dalam penggunaan *Particle Swarm Optimization* adalah sebagai berikut (Santosa,2006):

- Tentukan ukuran kawanan atau kelompok (jumlah partikel).
- Populasi awal dibangkitkan secara *random* (acak)
- Set iterasi  $i=1$  dan semua kecepatan diasumsikan 0
- Pada iterasi ke  $i$ , tentukan nilai terbaik dari partikel sejauh ini ( $P_{best}$ ), nilai terbaik keseluruhan ( $G_{best}$ ) dan kecepatan partikel dengan menggunakan Persamaan 2.17.
- Hitung posisi partikel yang baru dengan Persamaan 2.18.
- Cek apakah solusi yang sekarang sudah konvergen. Jika posisi semua partikel menuju ke satu nilai yang sama, maka ini disebut konvergen. Jika belum konvergen maka langkah 4 diulang dengan memperbarui iterasi  $i = i + 1$  dan menghitung nilai baru dari  $P_{best}$  dan  $G_{best}$

## 2.5. Uji Kelayakan

Studi Kelayakan (feasibility study) adalah kegiatan untuk menilai sejauh mana manfaat yang dapat diperoleh dalam melaksanakan suatu kegiatan usaha /proyek dan merupakan bahan

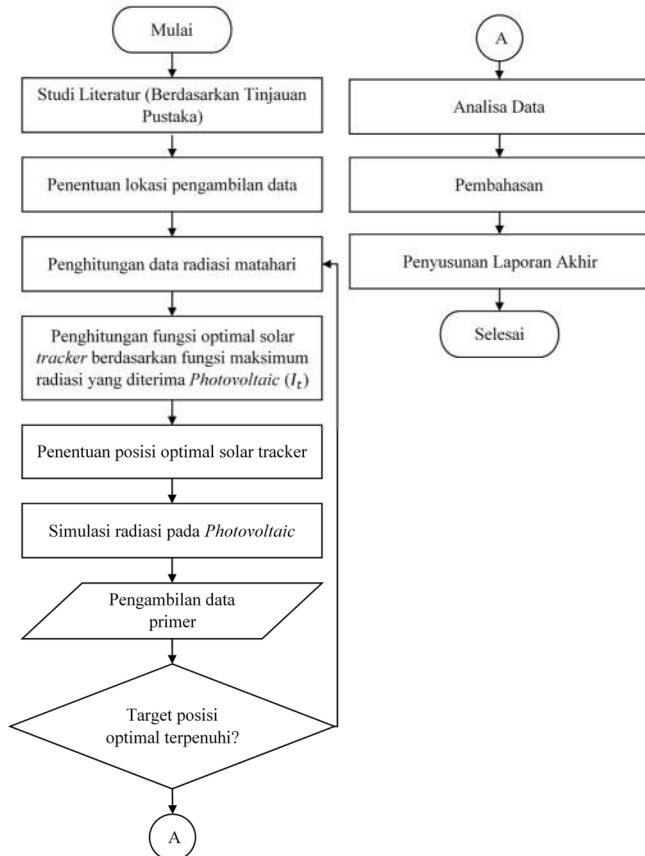
pertimbangan dalam mengambil suatu keputusan, apakah menerima atau menolak dari suatu gagasan usaha /proyek yang direncanakan. Pengertian layak dalam penilaian ini adalah kemungkinan dari gagasan usaha/proyek yang akan dilaksanakan memberikan manfaat (benefit), baik dalam arti financial benefit maupun dalam arti social benefit. Layaknya suatu gagasan usaha/proyek dalam arti social benefit tidak selalu menggambarkan dalam arti financial benefit, hal ini tergantung dari segi penilaian yang dilakukan (Ibrahim, 2003).

Tujuan utama dari studi kelayakan adalah untuk menilai 3 tipe kelayakan, yaitu:

- a. Kelayakan Teknis  
Menjelaskan apakah solusi dapat didukung oleh teknologi yang ada.
- b. Kelayakan Ekonomis  
Menjelaskan apakah teknologi yang ada memiliki *cost* yang efektif
- c. Kelayakan Operasional  
Menjelaskan apakah solusi dapat digunakan pada suatu organisasi jika diterapkan (Overton, 2004)

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Langkah – langkah yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3.1



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian pelaksanaan tugas akhir

### 3.1. Studi Literatur

Tahapan ini merupakan tahapan awal dalam pengerjaan penelitian ini. Tahapan ini bertujuan untuk mengetahui dan mempelajari teori – teori dasar untuk yang menunjang dalam pelaksanaan tugas akhir. Penelitian ini berhubungan dengan sistem penjejak matahari, sehingga penelitian - penelitian sebelumnya mengenai sistem penjejak matahari yang berhubungan dijadikan referensi.

Literatur – literatur yang digunakan untuk menunjang penelitian ini diambil dari berbagai sumber, baik itu jurnal – jurnal penelitian sebelumnya, *handbook*, dan lain sebagainya. Penelitian ini juga menggunakan *software* MATLAB, sehingga dibutuhkan juga pemahaman mendalam dalam penggunaan *software* tersebut.

Jurnal-jurnal utama yang digunakan antara lain

- a. Imam Abadi, “Rancang Bangun Sistem Penjejak Matahari Dua Sumbu Pada Photovoltaik Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Berbasis Particle Swarm Optimization”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Sep. 2016.

Disertasi ini merancang sistem penjejak matahari 2 sumbu dengan menggunakan kontrol logika *fuzzy* berbasis *Particle Swarm Optimization*. Akurasi penjajakan tertinggi mencapai 99,97% pada simulasi dan 99,18% pada eksperimen. Sementara peningkatan efisiensi energi tertinggi yang dicapai *solar tracker* adalah 59,82% pada simulasi dan 60,42% pada eksperimen

- b. B. J. Huang and F. S. Sun, “*Feasibility study of one axis three positions tracking solar PV with low concentration ratio reflector*,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 48, no. 4, pp. 1273–1280, Apr. 2007.

Paper ini mengajukan desain PV baru yaitu PV dengan satu *axis* dan 3 posisi menggunakan reflektor berasio rendah. PV ini berhenti pada 3 posisi, yaitu pada pagi, siang, dan sore hari. PV jenis ini mampu menghasilkan daya keluaran 56% lebih besar dibanding PV yang tetap.

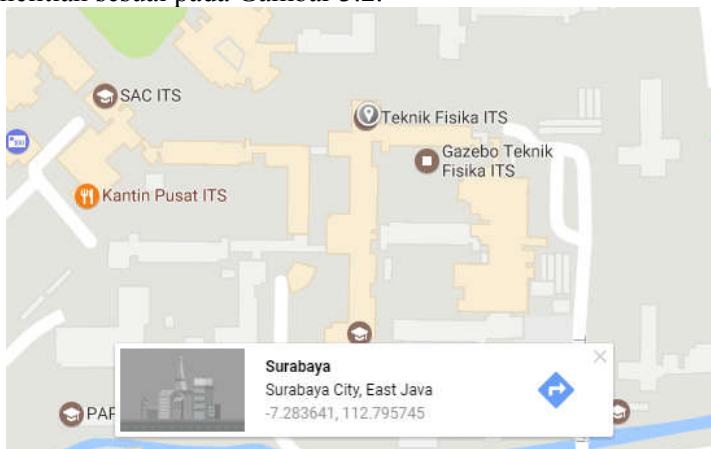
- c. B.-J. Huang, Y.-C. Huang, G.-Y. Chen, P.-C. Hsu, and K. Li, “Improving Solar PV System Efficiency Using One-Axis 3-Position Sun Tracking,” *Energy Procedia*, vol. 33, pp. 280–287, 2013.

Efisiensi konversi energi dari PV komersial hanya mampu menghasilkan sekitar 15-19% peningkatan. Daya keluaran dapat ditingkatkan dengan menggunakan teknologi *sun tracking*. Paper ini menguji PV 1 axis-3 posisi dari tanggal 1 Maret 2010 sampai dengan 31 Mei 2012.

### 3.2. Penentuan Lokasi Pengambilan Data

Lokasi pengambilan data menentukan hasil akhir yang akan didapatkan. Lokasi pengambilan data pada penelitian ini adalah Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan pada tanggal 9 April 2017.

Pengambilan data lintang dan bujur untuk penelitian adalah menggunakan *google maps*. Sehingga didapatkan lintang dan bujur penelitian sesuai pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Penentuan sudut lintang dan bujur dari lokasi penelitian menggunakan *Google Maps*

Koordinat dan elevasi dari lokasi penelitian dideskripsikan sebagai berikut

**Tabel 3.1** Lokasi Pengambilan Data

Besaran	Nilai
Lintang	7.28° Selatan
Bujur	112.79° Timur
Elevasi	1000 meter

data tersebut kemudian akan digunakan sebagai parameter – parameter untuk menyelesaikan penelitian yang dilakukan

### 3.3. Penghitungan Fungsi Optimal Solar Tracker

Optimasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah menggunakan metode *Particle Swarm Optimization*. Fungsi obyektif dari optimasi ini juga ditentukan pada persamaan (15). Parameter cari pada optimasi adalah sudut kemiringan PV ( $\alpha$ ) dan arahnya ( $\beta$ ). Sesuai persamaan (2), nilai – nilai seperti tanggal, koefisien pantul *ground*, deklinasi matahari, dan lainnya merupakan konstan. Sehingga nilai radiasi total yang diterima oleh PV ( $I_t$ ) pada lokasi surabaya dengan koordinat pada tabel 3.1 dan pada tanggal 9 April 2017 pada pukul *solar noon* sesuai dengan persamaan (2) menjadi

$$I_t = I_{0n} (\tau_b \cos \theta + \tau_d \cos \theta_z \left( \frac{1 + \cos \lambda}{2} \right) + \tau_b \cos \theta_z \rho \left( \frac{1 - \cos \lambda}{2} \right) + \tau_d \cos \theta_z \rho \left( \frac{1 - \cos \lambda}{2} \right))$$

Dengan nilai  $I_{0n}$

$$I_{0n} = (1353 (1 + 0.033 \cos \frac{360 n}{365})) t$$

Maka, pada Matlab dituliskan fungsi baru untuk mencari nilai radiasi yang diterima oleh *photovoltaic* pada sudut  $\alpha$  dan  $\beta$  tertentu. Fungsi tersebut terlampir pada Lampiran A.

Variabel – variabel yang konstan pada fungsi tersebut adalah

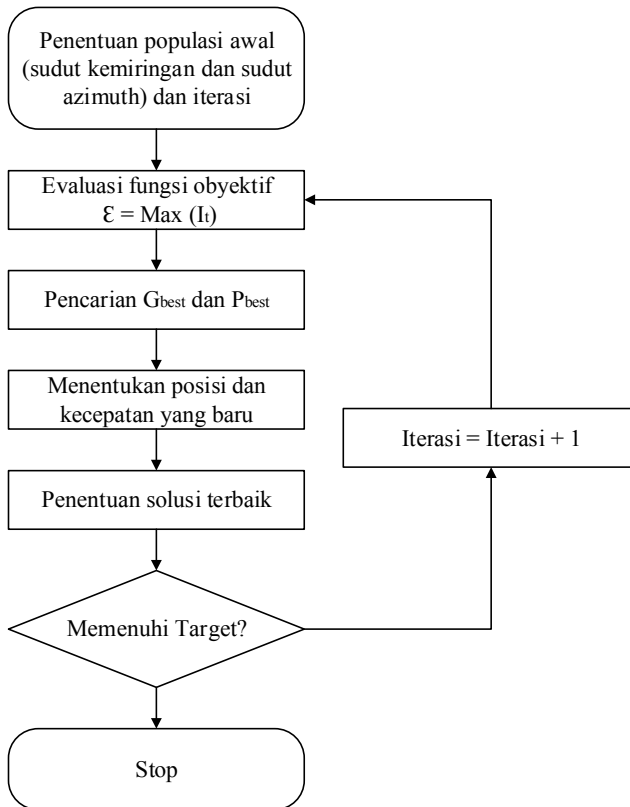


**Tabel 3.2** Variabel konstan pada fungsi radiasi Matlab

Variabel	Definisi	Nilai
$\rho$ (rho)	Koefisien pantulan <i>ground</i> (Halaman 8)	0,2
H	Ketinggian pengamat (Halaman 9)	1 km
$r_0, r_1, r_k$	Parameter atmosfer iklim tropis (Tabel 2.1)	0,95 ; 0,98 ; 1,02
n	Hari ke-n dalam setahun (Halaman 8)	153-155
t	Lama waktu untuk nilai $I_0$ (Halaman 9)	1 s
$\phi$ (lat)	Sudut lintang kota surabaya (Halaman 14)	-7.12°
$\gamma$ (gamma)	<i>Error</i> pemasangan PV (Halaman 8)	0°

### 3.4. Penentuan Posisi Optimal Solar Tracker

Posisi optimal dari solar *tracker* dapat ditentukan dengan menggunakan metode *particle swarm optimization* (PSO).



**Gambar 3.3** Diagram alir optimasi PSO

Lalu, pada Matlab dibuat program untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Program ini kemudian dibagi menjadi 3 proses utama yaitu:

a. Inisialisasi

Proses ini bertujuan untuk menginisialisasikan variabel-variabel yang akan digunakan selama proses optimasi berlangsung. Variabel-variabel tersebut antara lain:

- Popu : Singkatan dari populasi yang mendefinisikan jumlah populasi dalam proses optimasi

- $I_{te}$  : Merupakan singkatan dari iterasi yang mendefinisikan jumlah iterasi yang dilakukan selama proses optimasi
- $a$  : Mendeskripsikan variabel  $a$ , yaitu sudut  $\alpha$  yang berupa matriks  $1 \times 100$
- $b$  : Mendeskripsikan variabel  $b$ , yaitu sudut  $\beta$  yang berupa matriks  $1 \times 100$
- $a_{seb}$  : Merupakan singkatan dari  $a$  sebelum yang mendeskripsikan variabel  $\alpha$  yang belum mengalami iterasi
- $b_{seb}$  : Merupakan singkatan dari  $b$  sebelum yang mendeskripsikan variabel  $\beta$  yang belum mengalami iterasi
- $hasil$  : Mendefinisikan nilai radiasi fungsi sudut  $\alpha$  dan  $\beta$  dan merupakan matriks  $1 \times 100$
- $g_{best}$  : Mendefinisikan variabel  $g_{best}$ , yaitu nilai hasil terbaik dari semua populasi
- $pos_{g_{best}}$  : Mendefinisikan posisi  $\alpha$  dan  $\beta$  dari  $g_{best}$
- $va$  : Mendefinisikan variabel  $va$ , yaitu kecepatan dari partikel saat melakukan optimasi PSO
- $vb$  : Mendefinisikan variabel  $vb$ , yaitu kecepatan dari partikel saat melakukan optimasi PSO
- $va_{seb}$  : Merupakan singkatan  $va$  sebelum dan mendefinisikan nilai  $va$  sebelum mengalami iterasi
- $vb_{seb}$  : Merupakan singkatan  $vb$  sebelum dan mendefinisikan nilai  $vb$  sebelum mengalami iterasi
- $a_{now}$  : Mendefinisikan nilai  $\alpha$  setelah mengalami proses iterasi
- $b_{now}$  : Mendefinisikan nilai  $\beta$  setelah mengalami proses iterasi

- c1 : Mendefinisikan parameter kognitif. Gabungan antara c1 dan c2 menentukan sifat konvergensi dari algoritma
- c2 : Mendefinisikan parameter sosial. Gabungan antara c1 dan c2 menentukan sifat konvergensi dari algoritma

b. Iterasi *Particle Swarm Optimization*

Proses ini adalah proses utama dari program optimasi dengan metode *Particle swarm optimization*. Proses ini memiliki 4 *looping*, yaitu

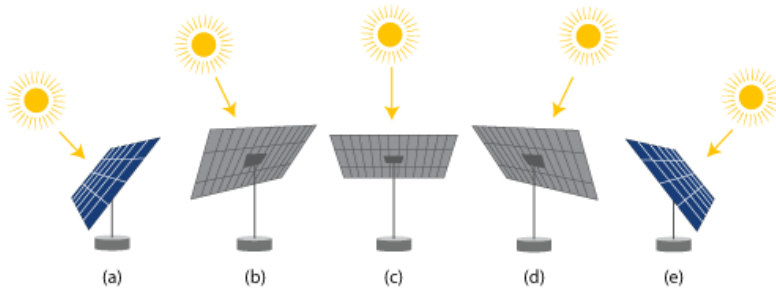
- *Looping* pertama : Bertujuan untuk memperbaharui posisi sudut  $\alpha$  dan  $\beta$  dengan membandingkan nilai hasil setelah iterasi dan nilai hasil sebelum iterasi. Apabila nilai hasil setelah iterasi lebih baik dibandingkan nilai hasil sebelum iterasi, maka *looping* ini akan memperbaharui nilai  $\alpha$  dan  $\beta$ . Namun apabila nilai dari hasil sebelum iterasi lebih baik, maka nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  yang digunakan adalah nilai sebelum iterasi. Proses ini juga membatasi agar nilai  $\alpha$  tidak lebih kecil dari  $0^\circ$
- *Looping* kedua : Bertujuan untuk memperbaharui nilai gbest dan posisi gbest selama optimasi. Nilai gbest sebelum iterasi dibandingkan dengan nilai setiap populasi setelah iterasi. Apabila terdapat nilai hasil yang lebih baik dibanding nilai gbest, maka nilai gbest dan posisi gbest diubah menjadi nilai hasil terbaik tersebut. Namun apabila tidak ada nilai hasil yang lebih baik dibanding gbest, maka nilai gbest dan posisi gbest yang lama tidak berubah

- *Looping* Ketiga : *Looping* ini bertujuan untuk memperbaharui nilai kecepatan ( $v_a$  dan  $v_b$ ) dan posisi  $a$  dan  $b$  tiap partikel dengan membandingkan nilai yang lama dan nilai yang baru.
  - *Looping* Keempat : *Looping* ini bertujuan untuk melakukan pengulangan proses iterasi sebanyak jumlah iterasi yang dimasukkan
- c. *Display Hasil*
- Proses ini bertujuan untuk menunjukkan hasil, yaitu nilai sudut  $\alpha$  dan sudut  $\beta$  optimal. Nilai tersebut diambil dari posisi gbest pada iterasi terakhir. Posisi  $\alpha$  terbaik adalah posisi  $a$  pada gbest iterasi terakhir dan posisi  $\beta$  terbaik adalah posisi  $b$  pada gbest iterasi terakhir. Nilai tersebut kemudian ditampilkan pada *command window Matlab*.

Dengan menggabungkan keempat proses utama ini, maka program pencarian nilai optimal dengan menggunakan optimasi *Particle swarm optimization* terlampir pada Lampiran B.

### 3.5. Pengambilan Data

Pengambilan data untuk penelitian ini dilakukan pada lokasi yang telah ditentukan pada subbab 3.2 yaitu berlokasi pada *rooftop* gedung S2 Teknik Fisika FTI-ITS dan dilakukan selama selang waktu dari pukul 08.00 sampai dengan 16.00 WIB.



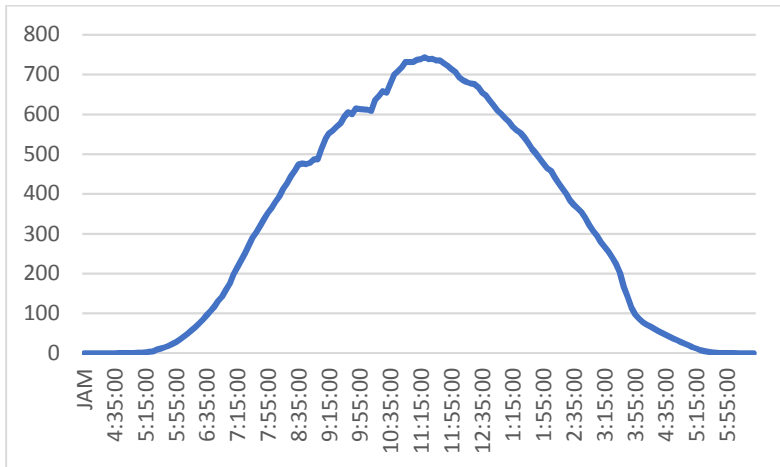
**Gambar 3.4** Skematik posisi PV dengan sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi

Gambar 3.4 menunjukkan bagaimana posisi PV saat pengambilan data, dimana (a) merupakan posisi pertama, (b) merupakan posisi kedua, (c) merupakan posisi ketiga, (d) merupakan posisi keempat, dan (e) merupakan posisi kelima.

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Penentuan Waktu Pergerakan Solar Tracker

Sesuai dengan konsep sistem peninjauan matahari dengan 2-axis dan 5-posisi pada Gambar 2.3, maka, waktu-waktu untuk matahari bergerak ditentukan dengan data radiasi matahari tahunan Badan Metrologi, Klimatologi, dan Geofisika kota Surabaya. Data rata-rata radiasi matahari selama satu tahun terlampir pada Lampiran B.



**Gambar 4.1** Rata-rata Radiasi Selama Satu Tahun

Pada Gambar 4.1, dari data yang diperoleh dari badan meteorologi, klimatologi, dan geofisika (BMKG), terdapat penurunan rata – rata radiasi pada pukul 08.45, 09:45, 10:10, dan 10:30. Pada pukul 08:45, penurunan rata – rata terjadi karena adanya nilai radiasi dalam satu tahun yang sangat kecil yang terjadi pada bulan Juni sampai dengan bulan Agustus yakni sebesar  $217W/m^2$  sementara rata – rata radiasi pada pukul 08:45 selama satu tahun adalah sebesar  $475W/m^2$ . Begitu juga pada pukul 09:45 dan 10:10. Penurunan rata – rata radiasi juga disebabkan rendahnya

nilai radiasi matahari pada bulan Juni sampai dengan bulan Agustus.

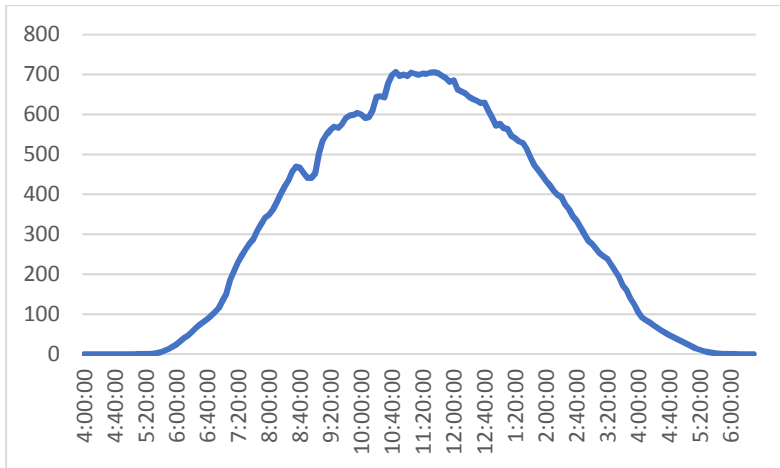
Untuk menentukan kapan sistem penjejak matahari berpindah posisi, maka data rata – rata radiasi selama satu tahun tersebut dibagi menjadi 5 waktu. Waktu pertama adalah dari pukul 04.00 sampai dengan 09.10 dengan jumlah radiasi total adalah sebesar  $11036 \text{ W/m}^2$ . Waktu kedua adalah dari pukul 09.15 sampai dengan 10.40 dengan total radiasi sebesar  $11092 \text{ W/m}^2$ . Waktu ketiga adalah dari pukul 10.45 sampai dengan 12.00 dengan total radiasi sebesar  $10955 \text{ W/m}^2$ . Waktu keempat adalah pada pukul 12.05 sampai dengan 13.30 dengan total radiasi sebesar  $11415 \text{ W/m}^2$ . Dan waktu yang terakhir adalah pada pukul 13.35 sampai dengan 18.30 yang memiliki radiasi total sebesar  $11141 \text{ W/m}^2$ .

**Tabel 4.1** Waktu pergerakan sistem penjejak matahari (data radiasi rata – rata selama satu tahun)

Posisi ke-	Jam		Jam pertengahan
	Awal	Akhir	
1	04.00	09.10	08.10
2	09.15	10.40	09.55
3	10.45	12.00	11.20
4	12.05	13.30	12.40
5	13.35	18.30	14.35

Lalu, dengan cara yang sama namun menggunakan data rata-rata radiasi matahari selama 6 bulan (Januari - Juni) dan 3 bulan (April-Juni), maka didapatkan sebagai berikut





**Gambar 4.2** Rata – rata radiasi selama 6 bulan (Januari - Juni)

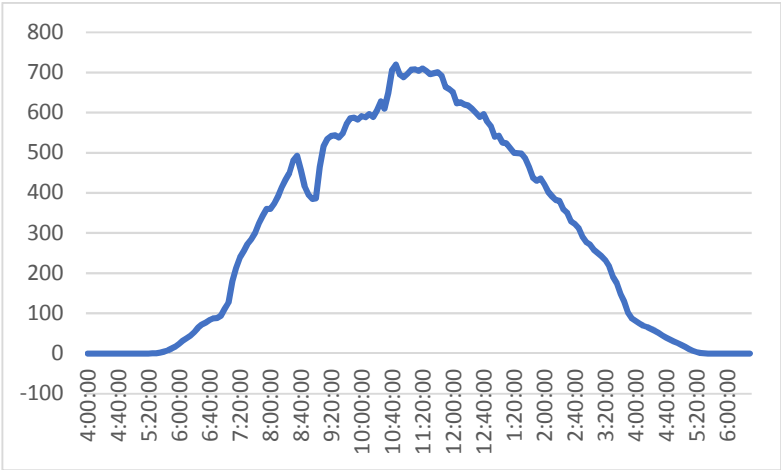
Pada Gambar 4.2, dari data yang diperoleh dari BMKG, terdapat penurunan rata – rata radiasi selama 6 bulan pada pukul 08.50, 09:30, 10:05, 10:30, dan 11:15. Pada pukul 08:50, penurunan rata – rata terjadi karena adanya nilai radiasi dalam satu bulan yang sangat kecil yang terjadi pada bulan Juni yakni sebesar  $171 \text{ W/m}^2$  sementara rata – rata radiasi pada pukul 08:45 selama satu tahun adalah sebesar  $441 \text{ W/m}^2$ . Begitu juga pada jam – jam lain Penurunan rata – rata radiasi juga disebabkan rendahnya nilai radiasi matahari pada bulan Juni.

Langkah-langkah dalam penentuan kapan sistem penjejak matahari bergerak dapat menggunakan cara yang sama dengan proses penentuan sebelumnya, yaitu dengan membaginya menjadi 5 bagian, yakni bagian pertama untuk posisi pertama, bagian kedua untuk posisi kedua dan begitu juga bagian lainnya. Bagian pertama memiliki jumlah radiasi total sebesar  $10402 \text{ W/m}^2$  dan dari jam 04.00 hingga 09.10. Sementara waktu kedua didapat pada pukul 09.15 hingga pukul 10.40 dengan total radiasinya adalah sebesar  $10921 \text{ W/m}^2$ . Posisi ketiga ditentukan dari pukul 10.45 hingga 11.55 dengan total radiasi adalah sebesar  $10493 \text{ W/m}^2$ . Posisi keempat dan kelima secara berturut – turut memiliki radiasi sebesar

10401  $W/m^2$  dan 11207  $W/m^2$  yang bergerak dari pukul 12.00 hingga 13.20 dan dari pukul 13.25 sampai pukul 18.30

**Tabel 4.2** Waktu pergerakan sistem penjejak matahari (data radiasi rata – rata selama 6 bulan)

Posisi ke-	Jam		Jam pertengahan
	Awal	Akhir	
1	04.00	09.10	08.40
2	09.15	10.40	09.55
3	10.45	11.55	11.20
4	12.00	13.20	12.40
5	13.25	18.30	14.25



**Gambar 4.3** Rata – rata radiasi selama 3 bulan (April - Juni)

Pada Gambar 4.3, dari data yang diperoleh dari BMKG, terdapat penurunan rata – rata radiasi selama 6 bulan pada pukul 08.55, 09:30, 10:15, 10:30, dan 10:55. Pada pukul 08:55, penurunan rata – rata terjadi karena adanya nilai radiasi dalam satu bulan yang sangat kecil yang terjadi pada bulan Juni yakni sebesar 169  $W/m^2$  sementara rata – rata radiasi pada pukul 08:55 selama tiga bulan adalah sebesar 385  $W/m^2$ . Begitu juga pada jam – jam

lain Penurunan rata – rata radiasi juga disebabkan rendahnya nilai radiasi matahari pada bulan Juni.

Penentuan waktu untuk berpindah posisi pada sistem penjejak matahari ini juga dengan membagi grafik pada Gambar 4.3 menjadi 5 bagian. Posisi pertama ditentukan dari bagian pertama yaitu dari pukul 04.00 hingga 09.10 dengan jumlah radiasi totalnya adalah sebesar  $10230 \text{ W/m}^2$ . Posisi kedua, ketiga, keempat, dan kelima memiliki jumlah radiasi total masing masing adalah  $10598 \text{ W/m}^2$ ,  $10439 \text{ W/m}^2$ ,  $10314 \text{ W/m}^2$ , dan sebesar  $9977 \text{ W/m}^2$ . Sementara waktu Bergeraknya adalah dari pukul 09.15 hingga 10.40, dari pukul 10.45 hingga 12.00, dari pukul 12.00 hingga 13.25, dan yang terakhir posisi kelima dari pukul 13.30 sampai 18.30.

**Tabel 4.3** Waktu pergerakan sistem penjejak matahari (data radiasi rata – rata selama 3 bulan)

Posisi ke-	Jam		Jam pertengahan
	Awal	Akhir	
1	04.00	09.10	08.10
2	09.15	10.40	09.55
3	10.45	11.55	11.20
4	12.00	13.25	12.40
5	13.30	18.30	14.25

Dari data – data tersebut, diketahui apabila tidak terdapat perbedaan yang signifikan terhadap waktu pembagian pergerakan *solar tracker* baik menggunakan data rata-rata radiasi selama satu tahun, 6 bulan, ataupun yang selama 3 bulan.

#### 4.2. Penentuan Posisi Optimal Sistem Penjejak Matahari

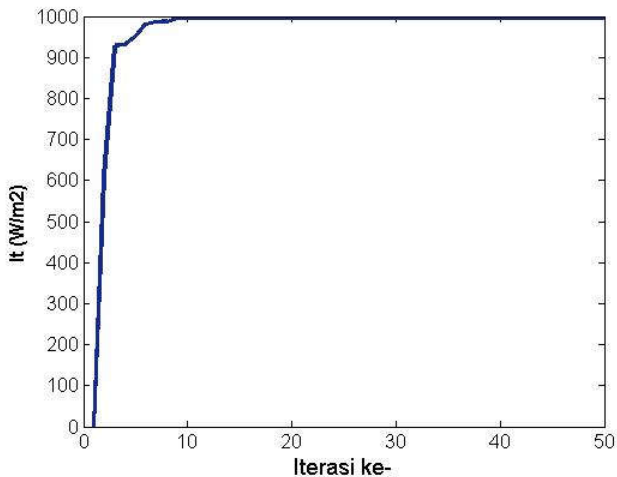
Posisi optimal dari sistem penjejak matahari ditentukan menggunakan metode optimasi *Particle swarm optimization* seperti yang sudah dibahas pada subbab 3.4. Dengan menggunakan jam pertengahan pada Tabel 4.3 Waktu pergerakan sistem penjejak matahari (data radiasi rata – rata selama 3 bulan) dan dengan jam

*solar noon* terlampir pada Lampiran D, maka didapatkan sudut optimal sebagai berikut

#### 4.2.1. Posisi Optimal untuk Data Radiasi Rata – Rata Tahunan

##### a. Posisi Pertama

Dengan menggunakan metode PSO dan memasukkan nilai omega pada pukul 08:10 yaitu sebesar  $-49.25^\circ$ . Ketika disimulasikan dan didapatkan hasil sebagai berikut

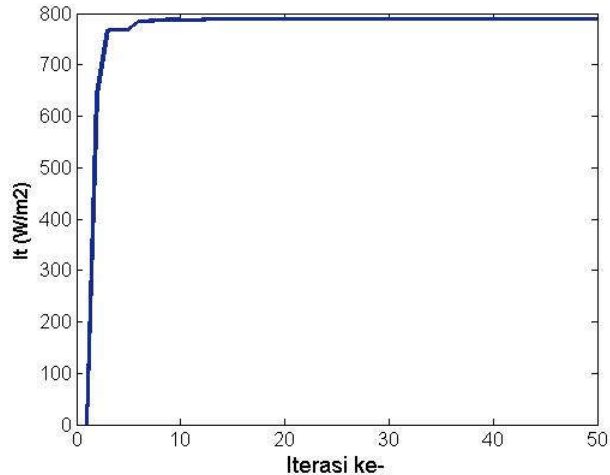


**Gambar 4.4** Hasil iterasi PSO posisi pertama dengan data rata – rata selama satu tahun

Pada Gambar 4.4, nilai maksimu didapatkan pada iterasi ke-12 dan dengan nilai  $\alpha = 30^\circ$  dan  $\beta = 208^\circ$  untuk posisi pertama dan dengan menggunakan data rata – rata radiasi selama satu tahun.

b. Posisi Kedua

Posisi kedua dari sistem penjejak matahari ini juga ditentukan dengan menggunakan PSO dan dengan nilai omega sebesar  $-23^\circ$

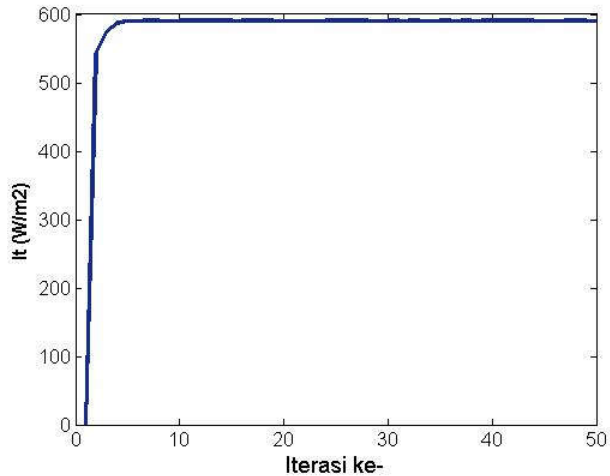


**Gambar 4.5** Hasil iterasi PSO posisi kedua dengan data rata – rata selama satu tahun

Sudut optimal didapat pada iterasi ke 9 sesuai dengan Gambar 4.5 yaitu dengan nilai  $\alpha = 47^\circ$  dan  $\beta = 208^\circ$  pada posisi kedua.

c. Posisi Ketiga

Posisi ketiga memiliki nilai omega sebesar  $-1,75^\circ$ . Sehingga, pada didapatkan hasil iterasi sebagai berikut

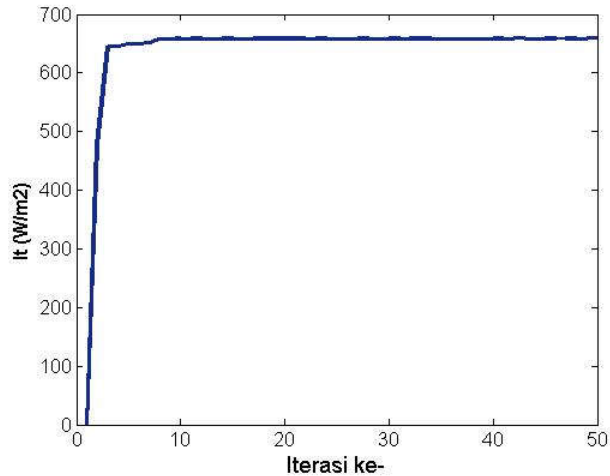


**Gambar 4.6** Hasil iterasi PSO posisi ketiga dengan data rata – rata selama satu tahun

Dengan menggunakan metode PSO, sudut optimal didapat pada iterasi ke 6 dan dengan nilai  $\alpha = 76^\circ$  dan  $\beta = 182^\circ$  didapatkan pada posisi ketiga sistem ini.

d. Posisi Keempat

Posisi keempat terjadi pada pukul 12.40 dan memiliki nilai omega sebesar 18.25. pada matlab, didapatkan iterasi PSO sebagai berikut

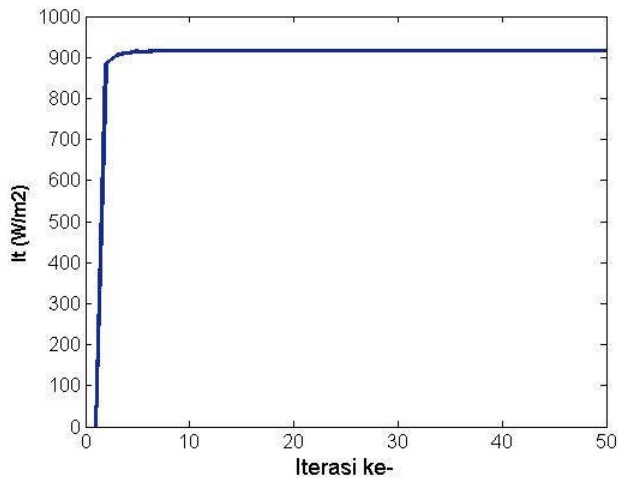


**Gambar 4.7** Hasil iterasi PSO posisi keempat dengan data rata – rata selama satu tahun

Didapatkan nilai  $\alpha = 111^\circ$  dan  $\beta = 151^\circ$  untuk posisi keempat dan nilai tersebut merupakan nilai maksimal yang didapat pada iterasi ke-10 dari proses optimasi.

e. Posisi Kelima

Dengan nilai omega sebesar  $47^\circ$ , iterasi PSO pada matlab yang dihasilkan untuk posisi kelima adalah sebagai berikut



**Gambar 4.8** Hasil iterasi PSO posisi kelima dengan data rata – rata selama satu tahun

Dengan nilai  $\alpha = 143^\circ$  dan  $\beta = 138^\circ$  untuk posisi kelima yang didapat pada iterasi ke 4 sesuai dengan Gambar 4.8.

**Tabel 4.4** Posisi sudut optimal untuk tiap posisi dengan data rata-rata radiasi tahunan

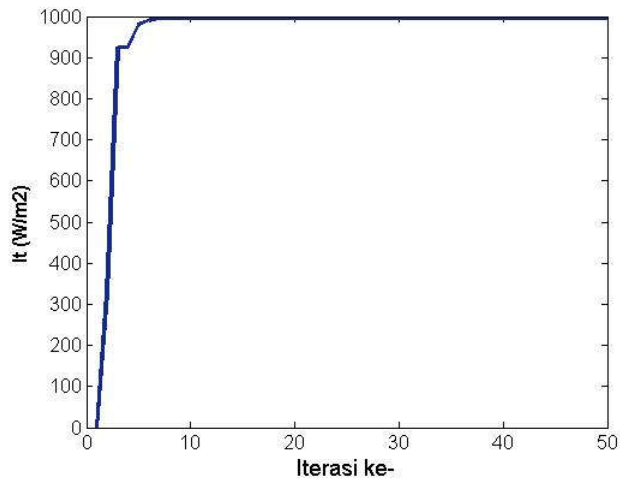
Posisi ke-	<i>Solar Noon</i>	Jam Pertengahan	$\omega$	$\alpha$	$\beta$
1	11.27	08.10	-49.25°	30°	218°
2	11.27	09.55	-23°	47°	208°
3	11.27	11.20	-1.75°	76°	182°
4	11.27	12.40	18°	111°	151°
5	11.27	14.35	46.75°	143°	138°



#### 4.2.2. Posisi Optimal untuk Data Radiasi Rata – Rata Selama 6 Bulan

##### a. Posisi Pertama

Dengan menggunakan metode PSO dan memasukkan nilai omega pada pukul 08:20 yaitu sebesar  $-46.75^\circ$ . Ketika disimulasikan pada Matlab didapatkan hasil sebagai berikut

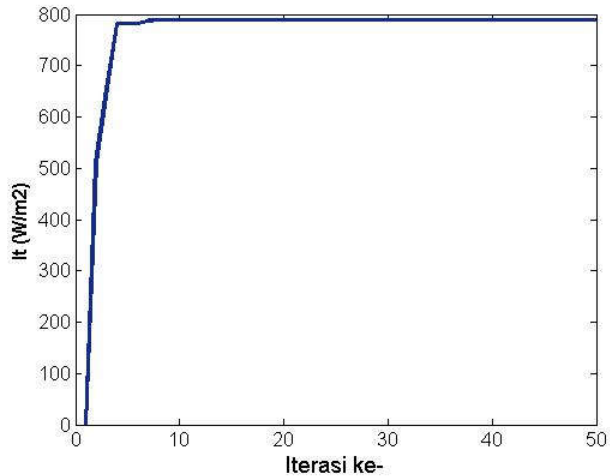


**Gambar 4.9** Hasil iterasi PSO posisi pertama dengan data rata – rata selama 6 bulan

Didapatkan nilai  $\alpha = 31^\circ$  dan  $\beta = 217^\circ$  pada iterasi ke 7 sesuai Gambar 4.9 untuk posisi pertama dengan menggunakan data rata – rata radiasi selama 6 bulan.

##### b. Posisi Kedua

Posisi kedua terjadi pada pukul 09.55 dan memiliki nilai omega sebesar  $-23^\circ$ . Hasil iterasi PSO nya pada Matlab adalah sebagai berikut

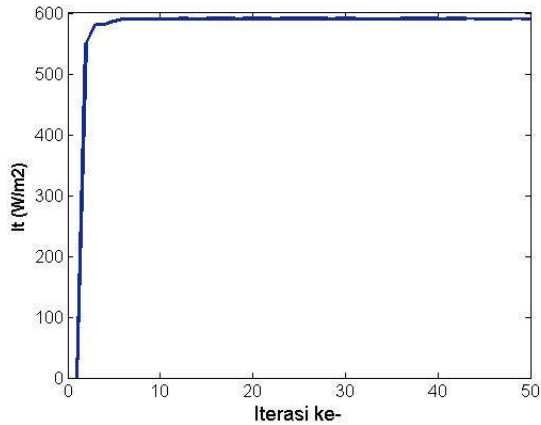


**Gambar 4.10** Hasil iterasi PSO posisi kedua dengan data rata – rata selama 6 bulan

Dengan nilai  $\alpha = 47^\circ$  dan  $\beta = 208^\circ$  pada posisi kedua. Posisi optimal tersebut didapat pada iterasi ke 9 sesuai dengan grafik hasil iterasi yang ada pada Gambar 4.10

c. Posisi Ketiga

Posisi ketiga memiliki nilai omega sebesar  $-3^\circ$ , sehingga besar posisi optimalnya didapatkan sebagai berikut

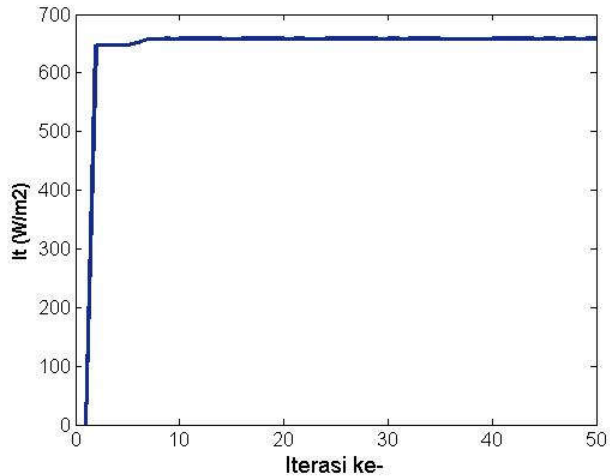


**Gambar 4.11** Hasil iterasi PSO posisi ketiga dengan data rata – rata selama 6 bulan

Nilai  $I_t$  maksimal didapatkan pada iterasi ke 9 dan dengan nilai  $\alpha = 73^\circ$  dan  $\beta = 185^\circ$  sebagai sudut optimal pada posisi ketiga

d. Posisi Keempat

Posisi keempat ditentukan dengan menggunakan metode PSO dan dengan nilai omega sebesar  $17^\circ$ . Didapatkan sudut optimalnya adalah sebagai berikut

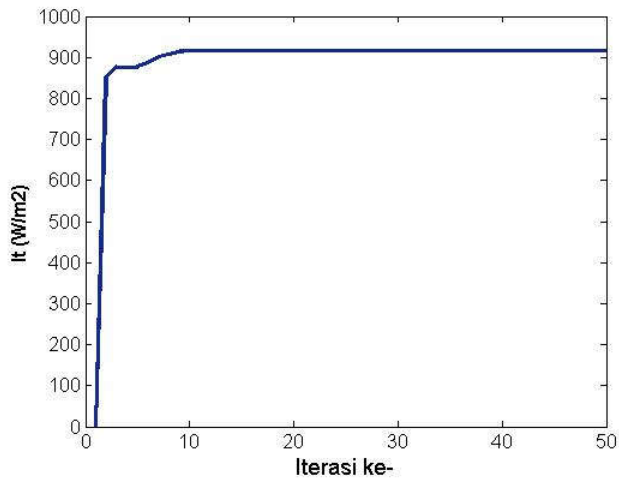


**Gambar 4.12** Hasil iterasi PSO posisi keempat dengan data rata – rata selama 6 bulan

Gambar 4.12 menunjukkan posisi optimal diketahui pada iterasi ke 10 PSO dan dengan nilai  $\alpha = 109^\circ$  dan  $\beta = 152^\circ$  untuk posisi keempat

e. Posisi Kelima

Dengan menggunakan sudut omega sebesar  $43.25^\circ$ , maka dapat ditentukan sudut optimalnya dengan menggunakan PSO sebagai berikut



**Gambar 4.13** Hasil iterasi PSO posisi kelima dengan data rata – rata selama 6 bulan

Nilai maksimal sudah didapat pada iterasi ke 11 dengan nilai sudut  $\alpha = 140^\circ$  dan nilai  $\beta = 138^\circ$  sebagai sudut optimal dari posisi kelima sistem penjejak matahari ini.

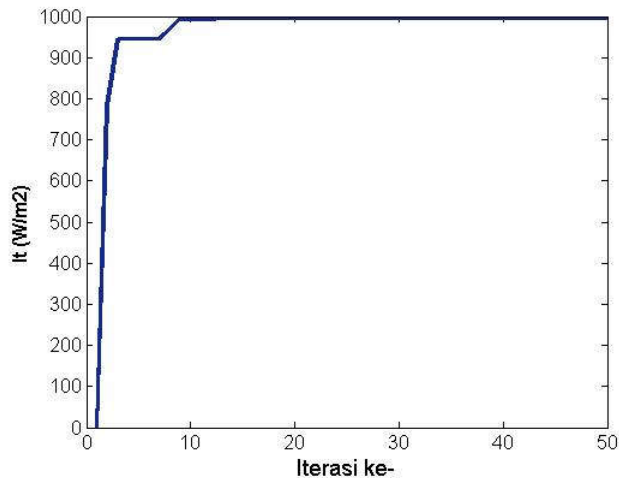
**Tabel 4.5** Posisi sudut optimal untuk tiap posisi dengan data rata-rata radiasi tahunan

Posisi ke-	<i>Solar Noon</i>	Jam Pertengahan	$\omega$	$\alpha$	$\beta$
1	11.27	08.20	$-46.75^\circ$	$31^\circ$	$217^\circ$
2	11.27	09.55	$-23^\circ$	$47^\circ$	$208^\circ$
3	11.27	11.15	$-3^\circ$	$73^\circ$	$185^\circ$
4	11.27	12.35	$17^\circ$	$109^\circ$	$152^\circ$
5	11.27	14.20	$43.25^\circ$	$140^\circ$	$138^\circ$

#### 4.2.3. Posisi Optimal untuk Data Radiasi Rata – Rata Selama 3 Bulan

##### a. Posisi Pertama

Dengan menggunakan metode PSO dan memasukkan nilai omega pada pukul 08:40 yaitu sebesar  $-41.75^\circ$ . Ketika disimulasikan pada Matlab didapatkan hasil sebagai berikut

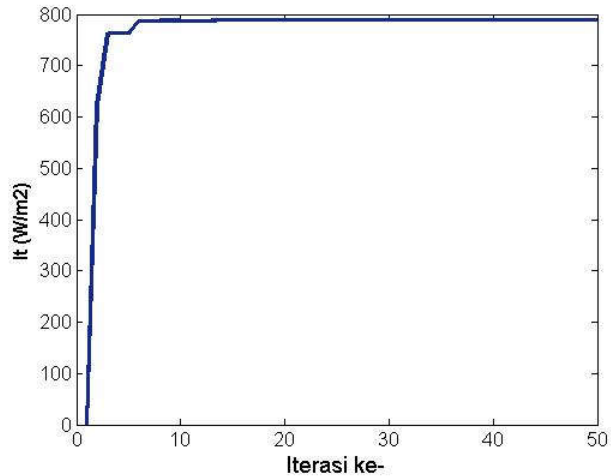


**Gambar 4.14** Hasil iterasi PSO posisi pertama dengan data rata – rata selama 3 bulan

Posisi pertama memiliki sudut optimal pada sudut  $\alpha = 34^\circ$  dan  $\beta = 216^\circ$  sesuai dengan iterasi pada Gambar 4.14 ketika iterasi ke 13.

##### b. Posisi Kedua

Posisi kedua juga ditentukan dengan menggunakan metode PSO dan dengan menggunakan sudut omega sebesar  $-23^\circ$ . Maka didapatkan hasil iterasinya sebagai berikut

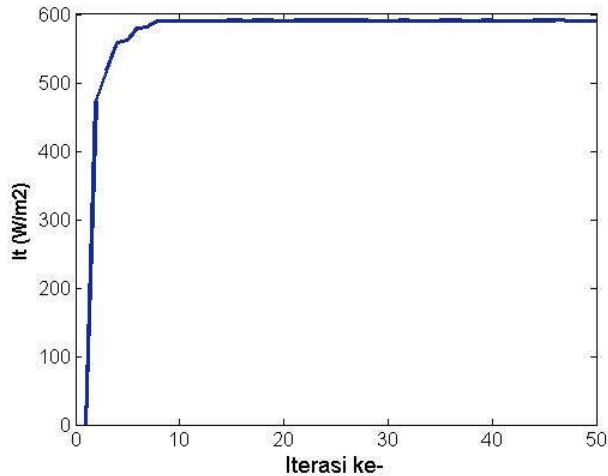


**Gambar 4.15** Hasil iterasi PSO posisi kedua dengan data rata – rata selama 3 bulan

Posisi kedua memiliki sudut  $\alpha = 47^\circ$  dan  $\beta = 208^\circ$  sebagai sudut optimalnya dan didapat pada iterasi ke 15 sesuai dengan Gambar 4.15

c. Posisi Ketiga

Posisi ketiga ditentukan juga dengan metode PSO dan dengan menggunakan sudut omega  $-1.75^\circ$ . sudut optimal untuk posisi ketiga adalah sebagai berikut



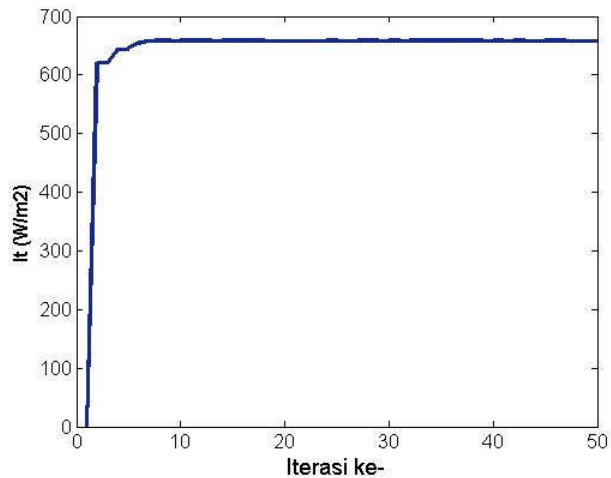
**Gambar 4.16** Hasil iterasi PSO posisi ketiga dengan data rata – rata selama 3 bulan

Nilai maksimum terjadi pada iterasi ke 8 dan dengan nilai  $\alpha = 75^\circ$  dan  $\beta = 183^\circ$  sebagai posisi ketiga pada sistem penjejak matahari ini.

d. Posisi Keempat

Posisi keempat memiliki sudut optimal yang ditentukan dengan menggunakan nilai omega sebesar  $18.25^\circ$ . Sehingga, didapatkan sudut optimalnya adalah sebagai berikut



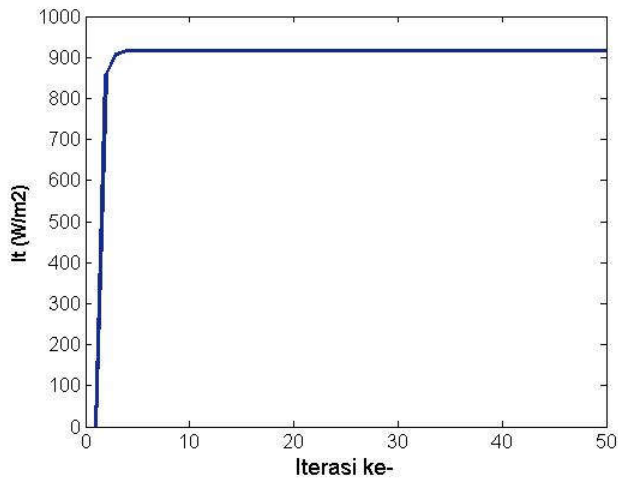


**Gambar 4.17** Hasil iterasi PSO posisi keempat dengan data rata – rata selama 3 bulan

Sudut optimal posisi keempat didapatkan pada iterasi ke 10 seperti pada Gambar 4.17 dan berada pada  $\alpha = 111^\circ$  dan  $\beta = 151^\circ$

e. Posisi Kelima

Dengan menggunakan metode PSO dan memasukkan nilai omega pada pukul 14:25 yaitu sebesar  $44.5^\circ$ . Hasil iterasi setelah disimulasikan pada Matlab adalah sebagai berikut



**Gambar 4.18** Hasil iterasi PSO posisi kelima dengan data rata – rata selama 3 bulan

Didapatkan nilai  $\alpha = 140^\circ$  dan  $\beta = 138^\circ$  untuk posisi kelima dengan menggunakan data rata – rata radiasi selama 3 bulan yang didapatkan pada iterasi ke 5 dari metode optimasi PSO sesuai dengan Gambar 4.18

**Tabel 4.6** Posisi sudut optimal untuk tiap posisi dengan data rata-rata radiasi tahunan

Posisi ke-	<i>Solar Noon</i>	Jam Pertengahan	$\omega$	$\alpha$	$\beta$
1	11.27	08.10	-49.25°	31°	217°
2	11.27	09.55	-23°	47°	208°
3	11.27	11.20	-1.75°	73°	185°
4	11.27	12.40	18°	109°	152°
5	11.27	14.35	46.75°	140°	138°

### 4.3. Analisa Efisiensi Sistem Penjejak Matahari 2-Axis 5-Posisi

- a. Daya Keluaran PV dengan Posisi Tetap Menghadap Utara  
Setelah melakukan pengambilan data pada tanggal 4 Juni 2017, maka didapatkan daya keluaran dari PV adalah sebagai berikut

**Tabel 4.7** Daya keluaran PV tanpa *tracking*

Jam	Fixed		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
8:00	8.15	0.53	4.32
8:30	9.88	0.62	6.13
9:00	14.06	0.76	10.69
9:30	15.82	0.82	12.97
10:00	16.36	0.86	14.07
10:30	16.80	0.87	14.62
11:00	16.70	0.87	14.51
11:30	16.92	0.90	15.23
12:00	16.15	0.88	14.21
12:30	15.85	0.87	13.79
13:00	16.02	0.87	13.94
13:30	15.79	0.87	13.74
14:00	14.68	0.82	12.04
14:30	8.74	0.61	5.33
15:00	8.35	0.59	4.93
15:30	4.38	0.40	1.75
16:00	3.50	0.33	1.16

Daya tertinggi terjadi pada pukul 11.30 yakni sebesar 15.23. sementara daya terkecil terjadi pada pukul 16.00 sebesar 1.16.

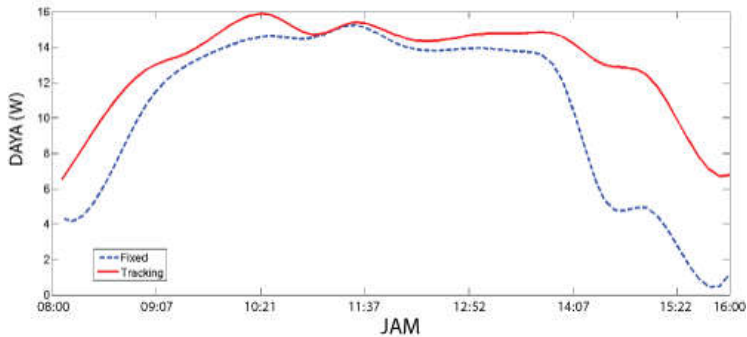
Data tersebut kemudian akan digunakan sebagai pembanding untuk menentukan besar nilai efisiensi dari *tracking* 2-axis dan 5-posisi

- b. Efisiensi PV *Tracking* dengan Data Rata-rata Radiasi 1 Tahun  
 Dengan menggunakan data posisi *tracking* sesuai dengan yang ada pada Tabel 4.4, maka didapatkanlah besar daya keluaran sebagai berikut

**Tabel 4.8** Daya keluaran PV *Tracking* rata-rata radiasi 1 tahun

Jam	Tracking 1 tahun		
	Tegangan(V)	Arus (A)	Daya (W)
8:00	10.41	0.62	6.46
8:30	13.70	0.74	10.11
9:00	15.75	0.80	12.66
9:30	16.41	0.83	13.56
10:00	17.33	0.88	15.29
10:30	17.77	0.89	15.84
11:00	16.96	0.87	14.79
11:30	17.10	0.90	15.31
12:00	16.36	0.90	14.66
12:30	16.24	0.88	14.28
13:00	16.51	0.88	14.60
13:30	16.62	0.89	14.72
14:00	16.52	0.88	14.56
14:30	15.23	0.85	12.93
15:00	15.04	0.83	12.51
15:30	12.01	0.74	8.88
16:00	10.39	0.67	6.96

Daya tertinggi adalah sama pada pukul 10.30 sebesar 15,84. Sementara yang terkecil adalah sebesar 6,96 pada pukul 16.00. Besar peningkatan efisiensi dari PV dengan *Tracking* ini dapat diketahui dengan membandingkannya dengan PV yang *fixed*



**Gambar 4.19** Perbandingan daya dengan *tracking* dan *fixed* dengan data radiasi 1 tahun

$$\eta = \frac{Energi_{track} - Energi_{fixed}}{Energi_{fixed}} \times 100\%$$

$$= \frac{853 - 683,5}{683,5} \times 100\% = 24,8\%$$

Penggunaan tracking untuk menjejak matahari agar memperoleh peningkatan efisiensi terbukti mampu meningkatkan efisiensinya sebesar 24,9%. Peningkatan daya keluaran terbesar terjadi pada pukul 14:30 yaitu sebesar 7.60 Watt atau mengalami peningkatan sebesar 143%. Sementara peningkatan terkecil terjadi pada siang hari pukul 11.30 yaitu hanya sebesar 0.09 Watt atau hanya sebesar 1%.

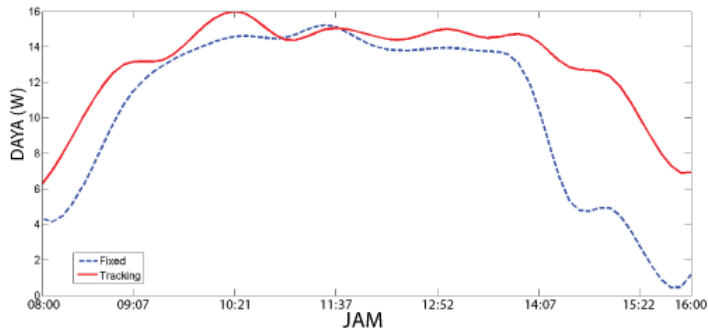
- c. Efisiensi PV *Tracking* dengan Rata – Rata Radiasi 6 Bulan  
 Dengan menggunakan data posisi *tracking* sesuai dengan yang ada pada Tabel 4.5, maka didapatkanlah besar daya keluaran sebagai berikut

**Tabel 4.9** Daya keluaran PV *Tracking* rata-rata radiasi 6 bulan

Jam	Tracking 6 bulan		
	Tegangan(V)	Arus (A)	Daya (W)
8:00	10.45	0.60	6.27
8:30	13.76	0.73	9.98
9:00	15.76	0.82	12.98
9:30	16.46	0.81	13.28
10:00	17.38	0.87	15.17
10:30	17.80	0.89	15.87
11:00	17.01	0.85	14.39
11:30	17.08	0.88	14.98
12:00	16.40	0.90	14.71
12:30	16.27	0.89	14.43
13:00	16.47	0.91	15.00
13:30	16.65	0.87	14.50
14:00	16.49	0.89	14.61
14:30	15.27	0.84	12.85
15:00	15.05	0.82	12.34
15:30	12.03	0.74	8.95
16:00	10.44	0.66	6.92

Daya tertinggi adalah sama seperti PV yang *fixed* yaitu pada pukul 10.30 sebesar 15,87. Sementara yang terkecil adalah sebesar 6,92 pada pukul 16.00. Besar peningkatan

efisiensi dari PV dengan *Tracking* ini dapat diketahui dengan membandingkannya dengan PV yang *fixed*



**Gambar 4.20** Perbandingan daya dengan *tracking* dan *fixed* dengan data radiasi 6 bulan

$$\eta = \frac{Energi_{track}}{Energi_{fixed}} \times 100\%$$

$$= \frac{849,67}{683,5} \times 100\% = 24,3\%$$

Sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi yang menggunakan data rata-rata radiasi selama 6 bulan ini mampu memberi peningkatan efisiensi sebesar 24,3%. Peningkatan daya terbesar terjadi pada pukul 14.30 dengan besar peningkatannya adalah sebesar 7,52 Watt atau sebesar 141% dibandingkan dengan yang tanpa penjejak matahari. Sementara peningkatan terkecil terjadi pada pukul 11.30 yang mengalami penurunan daya yang diterima sebesar 0.24 Watt atau sebesar -2%.

d. Efisiensi PV *Tracking* dengan Rata – Rata Radiasi Selama 3 Bulan

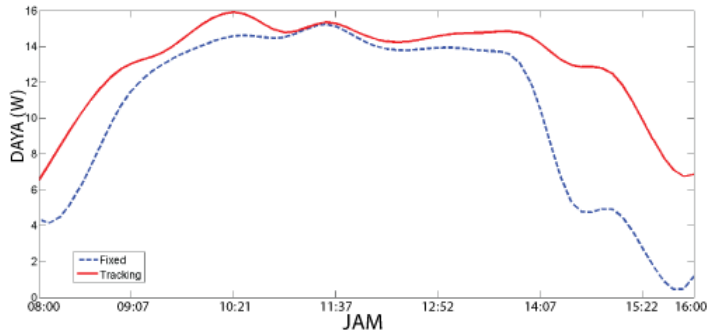
Dengan menggunakan data posisi *tracking* sesuai dengan yang ada pada Tabel 4.6 maka didapatkanlah besar daya keluaran sebagai berikut

**Tabel 4.10** Daya keluaran PV *Tracking* rata-rata radiasi 3 bulan

Jam	Tracking 3 bulan		
	Tegangan(V)	Arus (A)	Daya (W)
8:00	10.45	0.62	6.49
8:30	13.77	0.73	10.10
9:00	15.73	0.83	12.98
9:30	16.39	0.85	13.90
10:00	17.36	0.88	15.35
10:30	17.75	0.91	16.06
11:00	17.02	0.88	14.92
11:30	17.11	0.91	15.52
12:00	16.33	0.91	14.88
12:30	16.17	0.87	14.08
13:00	16.44	0.88	14.46
13:30	16.65	0.88	14.71
14:00	16.50	0.89	14.77
14:30	15.23	0.84	12.74
15:00	15.08	0.81	12.27
15:30	12.02	0.71	8.54
16:00	10.36	0.64	6.60

Daya tertinggi adalah sama pada pukul 10.30 sebesar 16,06. Sementara yang terkecil adalah sebesar 6,60 pada pukul 16.00. Besar peningkatan efisiensi dari PV dengan *Tracking* ini dapat diketahui dengan membandingkannya dengan PV yang *fixed*





**Gambar 4.21** Perbandingan daya dengan *tracking* dan *fixed* dengan data radiasi 3 bulan

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{Energi_{track}}{Energi_{fixed}} \times 100\% \\
 &= \frac{853,6}{683,5} \times 100\% = 24,9\%
 \end{aligned}$$

Sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi yang menggunakan data rata-rata radiasi selama 3 bulan memiliki peningkatan paling besar yakni 24,9% dan peningkatan tertinggi terjadi pada pukul 14.30 juga dengan peningkatan daya sebesar 7.41 Watt atau sebesar 139%. Sementara peningkatan daya terkecil terjadi pada pukul 11.30 yang hanya mampu meningkatkan daya keluaran PV sebesar 0.30 Watt atau sebesar 2%.

Setelah dilakukannya pengujian dan penganalisan data, diketahui apabila efisiensi dari sistem penjejak matahari ini adalah sebesar 24,8% dengan menggunakan data rata-rata radiasi selama 1 tahun, 24,3% dengan menggunakan data rata-rata radiasi selama 6 bulan dan sebesar 24,9 persen dengan menggunakan data rata-rata radiasi selama 3 bulan. Tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara peningkatan efisiensi dengan menggunakan rata-rata radiasi selama 1 tahun, 6 bulan ataupun 3 bulan. Hal ini

menunjukkan sistem penjejak matahari tipe ini mampu menerima kesalahan pemasangan yang kecil ( $\pm 3^\circ$ ) karena peningkatan efisiensi yang dihasilkan hanya memiliki perbedaan yang tidak lebih besar dari 0,6%.

Sistem penjejak matahari ini memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan sistem penjejak matahari 1-axis 3-posisi yang diajukan B.J Huang (2007) yang menghasilkan peningkatan efisiensi sebesar 24,5%. Besar konsumsi energi dari sistem penjejak matahari untuk motor dan kontrolernya adalah sebesar 5,89% dari total energi yang dihasilkan (Ahmad, Shafie, & Ab Kadir, 2013), sehingga dengan mengurangi peningkatan efisiensi yang dihasilkan dengan 5,89% menghasilkan peningkatan efisiensi sebesar 19,01%. Sistem penjejak matahari jenis ini adalah layak untuk digunakan karena mampu menghasilkan daya yang lebih besar dari yang dikonsumsi.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Setelah melakukan penghitungan posisi optimal dari *solar tracker* 2-axis dan 5-posisi serta kemudian dilakukan pengujian, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Dengan menggunakan rata – rata radiasi, didapatkan posisi optimal dari sistem penjejak matahari pada sudut  $34^{\circ}; 216^{\circ}$  pada pukul 04.00-09.10, sudut  $47^{\circ}; 208^{\circ}$  pada pukul 09.15-10.40, sudut  $75^{\circ}; 183^{\circ}$  pada pukul 10.45-11.55, sudut  $111^{\circ}; 151^{\circ}$  pada pukul 12.00-13.25, dan  $140^{\circ}; 138^{\circ}$  pada pukul 13.30-18.30
- b. Peningkatan efisiensi terbesar dialami oleh *solar tracker* dengan menggunakan data rata-rata radiasi selama 3 bulan yaitu sebesar 24,9%. Data rata-rata radiasi selama 1 tahun menghasilkan radiasi sebesar 24.8% dan dengan data rata-rata radiasi selama 6 bulan meningkatkan efisiensi sebesar 24.3%

#### **5.2. Saran**

Banyak cara agar *solar tracker* jenis ini dapat memperoleh hasil yang lebih baik, antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Menggunakan data radiasi matahari yang diambil pada lokasi tempat pemasangan PV akan dilakukan.
- b. Menggunakan kontrol otomatis untuk menggerakkan PV agar sudut yang digunakan lebih akurat dan presisi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, I. (2016, September). Rancang Bangun Sistem Penjejak Matahari Dua Sumbu Pada Photovoltaik Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Berbasis Particle Swarm Optimization. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Abu-Khader, M. M., Badran, O. O., & Abdallah, S. (2008). Evaluating multi-axes sun-tracking system at different modes of operation in Jordan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(3), 864–873. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.005>
- Ahmad, S., Shafie, S., & Ab Kadir, M. Z. A. (2013). Power Feasibility of a Low Power Consumption Solar Tracker. *Procedia Environmental Sciences*, 17, 494–502. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.02.064>
- Chang, T. P. (2009). Output energy of a photovoltaic module mounted on a single-axis tracking system. *Applied Energy*, 86(10), 2071–2078. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.02.006>
- Hottel, H. C. (1976). A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmospheres. *Solar Energy*, 18(2), 129–134. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(76\)90045-1](https://doi.org/10.1016/0038-092X(76)90045-1)
- Huang, B. J., Ding, W. L., & Huang, Y. C. (2011). Long-term field test of solar PV power generation using one-axis 3-position sun tracker. *Solar Energy*, 85(9), 1935–1944. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.05.001>
- Huang, B. J., & Sun, F. S. (2007). Feasibility study of one axis three positions tracking solar PV with low concentration ratio reflector. *Energy Conversion and Management*,

- 48(4), 1273–1280.  
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.09.020>
- Huang, B.-J., Huang, Y.-C., Chen, G.-Y., Hsu, P.-C., & Li, K. (2013). Improving Solar PV System Efficiency Using One-Axis 3-Position Sun Tracking. *Energy Procedia*, 33, 280–287. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.069>
- Ibrahim, H. M. Y. (2003). Studi kelayakan bisnis.
- Kacira, M., Simsek, M., Babur, Y., & Demirkol, S. (2004). Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey. *Renewable Energy*, 29(8), 1265–1275. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2003.12.014>
- Kalogirou, S. A. (1996). Design and construction of a one-axis sun-tracking system. *Solar Energy*, 57(6), 465–469. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(96\)00135-1](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(96)00135-1)
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization (Vol. 4, pp. 1942–1948). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>
- Liu, B. Y. H., & Jordan, R. C. (1960). The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation. *ResearchGate*, 4(3), 1–19. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(60\)90062-1](https://doi.org/10.1016/0038-092X(60)90062-1)
- Liu, B. Y. H., & Jordan, R. C. (1963). The long-term average performance of flat-plate solar-energy collectors. *Solar Energy*, 7(2), 53–74. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(63\)90006-9](https://doi.org/10.1016/0038-092X(63)90006-9)
- Lynch, W. A. (University of L., & Salameh, Z. M. (1990). Simple electro-optically controlled dual-axis sun tracker. *Solar Energy (USA)*. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9043118>
- Overton, R. (2004). Feasibility studies made simple. Boat Harbour, NSW: Martin Books.

- Parida, B., Iniyar, S., & Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *ResearchGate*, 15(3), 1625–1636. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.032>
- Saputra, W. (2008). Rancang Bangun Solar Tracking System Untuk Mengoptimalkan Penyerapan Energi Matahari Pada Solar Cell. Universitas Indonesia.
- Seme, S., Štumberger, G., & Voršič, J. (2011). Maximum Efficiency Trajectories of a Two-Axis Sun Tracking System Determined Considering Tracking System Consumption. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(4), 1280–1290. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2011.2105506>
- Seme, Sebastijan, Štumberger, G., & Voršič, J. (2011). The optimal tracking strategies for two-axis PV system. *ResearchGate*, 87(3), 170–174.
- Wesoff, E. (2016, June 21). Beamreach Unstealths (Again) With Lightweight PV Module for Commercial Roofs. Retrieved July 27, 2017, from <https://www.greentechmedia.com/articles/read/beamreach-unstealths-again-with-light-weight-pv-module-for-commercial-roo>
- Zweibel, K., & Hersch, P. (1984). *Basic photovoltaic Principles and methods*. New York: Van Nostrand Reinhold.





## LAMPIRAN A

### FUNGSI RADIASI PADA MATLAB

```
function it = radiasi(a,b)
%Variabel - variabel Konstan
rho = 0.2;
A = 1;
ro = 0.95;
ri = 0.98;
rk = 1.02;
n = 152;
t = 1;
lat = -7.12;
omega = 47;
gamma = 0;

%Persamaan
ion = (1353*(1+(0.033*cosd(360*n/365))))*t;
%Persamaan
aob = 0.4237 - (0.00821 * (6-A)^2);
aib = 0.5055 + (0.00595 * (6.5 - A)^2);
kb = 0.2711 + 0.01858 * (0.01858*(2.5-A)^2);
k = rk * kb;
ai = ri * aib;
ao = aob * ro;
%Persamaan
delta = 23.45 * (sind(360*(284+n)/365));
%Persamaan
lambda = acosd (cosd(a)*cosd(b));
%Persamaan
teta = acosd ((sind(a)*cosd(b)*sind(lat)*...
cosd(gamma)*cosd(delta)*cosd(omega)) - ...
(sind(a)*cosd(b)*cosd(gamma)*cosd(lat)*...
sind(delta))-(sind(b)*sind(gamma)*...
sind(lat)*cosd(delta)*cosd(omega)) + ...
(sind(b)*sind(gamma)*cosd(lat)*...
sind(delta))+(sind(a)*cosd(b)*sin(gamma)*...
cosd(delta)*sind(omega))+(sind(b)*...
cosd(gamma)*cosd(delta)*sind(omega))+...
(cosd(a)*cosd(b)*sind(lat)*sind(delta))+...
```

```

        (cosd(a)*cosd(b)*cosd(lat)*cosd(delta)*...
        sind(omega)));
%Persamaan
tetaz = acosd((cosd(lat)*cosd(delta)*...
        cosd(omega))+(sind(lat)*sind(delta)));
%Persamaan
tb = ao + ai*exp(-k/cosd(tetaz));
%Persamaan
td = 0.2710 - (0.2939*tb);
%Persamaan
icb = ion*tb*cosd(tetaz);
%Persamaan
icd = ion * td * cosd(tetaz);
%Persamaan
ic = icb + icd;
%Persamaan
rb = cosd(teta)/cosd(tetaz);
%Persamaan
it = icb*rb + icd*((1+cosd(lambda))/2)+...
        ic*rho*((1-cosd(lambda))/2);
end

```

## LAMPIRAN B

### PROGRAM PARTICLE SWARM OPTIMIZATION PADA MATLAB

```
clear all
clc

%% Inisialisasi
popu = 200;           % Jumlah populasi awal
ite = 200;            % Jumlah iterasi
a=zeros(1,popu);      % Inisialisasi variabel a
b=a;                  % Inisialisasi variabel b
aseb=a; % Inisialisasi nilai a sebelum iterasi
bseb=b; % Inisialisasi nilai b sebelum iterasi
hasil=zeros(1,popu); % Inisialisasi nilai hasil
gbest=0;              % Inisialisasi nilai gbest
posgbest=zeros(1,2); % Inisialisasi posisi gbest
va = a;               % Inisialisasi nilai va
vaseb=a % Inisialisasi nilai va sebelum iterasi
vb = a;               % Inisialisasi nilai vb
vbseb=a;% Inisialisasi nilai vb sebelum iterasi
c1 = 2;
c2 = 2;

for awal=1:popu
    a(awal) = rand*180;
    b(awal) = rand*180;
end
anow=a;
bnow=b;

%% Iterasi PSO
for j = 1:ite
    clc
    disp(num2str(j))
    hasilseb=hasil;
    aseb=a;
    bseb=b;
    for i = 1:popu
        hasil(i)=radiasihuang(anow(i),bnow(i));
```

```

        if hasilseb(i)>hasil(i)
            hasil(i)=hasilseb(i);
            a(i)=aseb(i);
            b(i)=bseb(i);
        else
            a(i)=anow(i);
            b(i)=bnow(i);
        end
        if a(i) < 0
            a(i) = aseb(i);
        end
    end

for i = 1:popu
    if hasil(i)>gbest
        gbest=hasil(i);
        posgbest=[a(i),b(i)];
    end
end

for i=1:popu
    va(i)=vaseb(i)+c1*rand()*(a(i)-...
        aseb(i))+c2*rand()*(...
        (posgbest(1)-a(i)));
    vb(i)=vbseb(i)+c1*rand()*(b(i)-...
        bseb(i))+c2*rand()*(...
        (posgbest(2)-b(i)));
    anow(i)=aseb(i)+va(i);
    bnow(i)=bseb(i)+vb(i);
end
end

%% Display Hasil
clc
disp('sudut optimal: ')
disp(num2str(posgbest(1)))
disp(num2str(posgbest(2)))

```

## LAMPIRAN C

### RATA-RATA RADIASI MATAHARI

#### C1. Rata-Rata Radiasi Matahari Selama Satu Tahun

Jam	Rata Rata
4:00:00	0.0000
4:05:00	0.0000
4:10:00	0.0014
4:15:00	0.0034
4:20:00	0.0074
4:25:00	0.0189
4:30:00	0.0397
4:35:00	0.0851
4:40:00	0.1775
4:45:00	0.3159
4:50:00	0.4505
4:55:00	0.6454
5:00:00	0.8445
5:05:00	1.1014
5:10:00	1.6047
5:15:00	2.3794
5:20:00	3.4428
5:25:00	4.7447
5:30:00	9.1677
5:35:00	11.6909
5:40:00	14.8896
5:45:00	18.4801

Jam	Rata Rata
5:50:00	22.6635
5:55:00	27.8543
6:00:00	34.1580
6:05:00	41.7515
6:10:00	48.8182
6:15:00	57.1680
6:20:00	65.1709
6:25:00	74.6398
6:30:00	84.1569
6:35:00	95.1578
6:40:00	105.9056
6:45:00	117.1142
6:50:00	131.2278
6:55:00	142.3415
7:00:00	158.5723
7:05:00	174.3380
7:10:00	198.7547
7:15:00	216.3428
7:20:00	233.9419
7:25:00	251.5710
7:30:00	270.0762
7:35:00	290.2388

<b>Jam</b>	<b>Rata Rata</b>
7:40:00	303.8739
7:45:00	319.5768
7:50:00	336.3500
7:55:00	352.1658
8:00:00	364.9541
8:05:00	380.2228
8:10:00	393.5524
8:15:00	413.4161
8:20:00	426.9948
8:25:00	444.1008
8:30:00	457.9921
8:35:00	474.0612
8:40:00	476.8263
8:45:00	475.3049
8:50:00	477.9556
8:55:00	487.0647
9:00:00	487.4659
9:05:00	514.6941
9:10:00	537.7372
9:15:00	552.1098
9:20:00	559.4578
9:25:00	568.9904
9:30:00	577.2753
9:35:00	594.4310
9:40:00	605.3514
9:45:00	600.3084

<b>Jam</b>	<b>Rata Rata</b>
9:50:00	615.1050
9:55:00	613.7774
10:00:00	612.9036
10:05:00	611.6382
10:10:00	608.3196
10:15:00	635.5336
10:20:00	646.0231
10:25:00	658.2067
10:30:00	654.2299
10:35:00	678.0533
10:40:00	700.2975
10:45:00	709.3521
10:50:00	718.8587
10:55:00	731.5627
11:00:00	731.9194
11:05:00	731.8975
11:10:00	737.3704
11:15:00	738.5073
11:20:00	743.3390
11:25:00	738.4687
11:30:00	739.5604
11:35:00	735.2476
11:40:00	735.4709
11:45:00	728.6615
11:50:00	721.8003
11:55:00	713.8709

<b>Jam</b>	<b>Rata Rata</b>
12:00:00	706.9552
12:05:00	692.9410
12:10:00	685.3824
12:15:00	681.1039
12:20:00	678.0283
12:25:00	675.8973
12:30:00	668.3851
12:35:00	654.3160
12:40:00	647.6275
12:45:00	634.8150
12:50:00	622.6381
12:55:00	609.9443
1:00:00	601.5491
1:05:00	590.9420
1:10:00	582.0561
1:15:00	569.1361
1:20:00	559.9858
1:25:00	554.2031
1:30:00	542.8223
1:35:00	529.1572
1:40:00	513.9722
1:45:00	502.7300
1:50:00	489.6776
1:55:00	476.9987
2:00:00	464.9919
2:05:00	458.4612

<b>Jam</b>	<b>Rata Rata</b>
2:10:00	440.9928
2:15:00	427.1723
2:20:00	412.8356
2:25:00	400.9465
2:30:00	384.3655
2:35:00	373.2168
2:40:00	364.3982
2:45:00	354.1557
2:50:00	339.7180
2:55:00	322.2402
3:00:00	307.7671
3:05:00	295.3719
3:10:00	279.9542
3:15:00	267.1637
3:20:00	255.2986
3:25:00	239.9491
3:30:00	223.7561
3:35:00	202.6714
3:40:00	167.0442
3:45:00	142.4361
3:50:00	115.0858
3:55:00	96.8738
4:00:00	86.9040
4:05:00	77.9325
4:10:00	71.7688
4:15:00	66.9726

Jam	Rata Rata
4:20:00	61.3375
4:25:00	55.8755
4:30:00	50.8847
4:35:00	46.0749
4:40:00	41.4334
4:45:00	36.8621
4:50:00	33.0688
4:55:00	28.1333
5:00:00	23.7660
5:05:00	19.4125
5:10:00	15.2467
5:15:00	11.3717
5:20:00	8.0880
5:25:00	5.4539

Jam	Rata Rata
5:30:00	3.4674
5:35:00	2.1036
5:40:00	1.2161
5:45:00	0.7263
5:50:00	0.4454
5:55:00	0.2238
6:00:00	0.1629
6:05:00	0.1318
6:10:00	0.0000
6:15:00	0.0000
6:20:00	0.0000
6:25:00	0.0000
6:30:00	0.0000

**C2. Rata-Rata Radiasi Matahari Selama 6 Bulan**  
(Januari – Juni)

Jam	Rata-rata
4:05:00	0.00
4:10:00	0.00
4:15:00	0.00
4:20:00	0.00
4:25:00	0.00
4:30:00	0.00
4:35:00	0.00
4:40:00	0.00
4:45:00	0.00

Jam	Rata-rata
4:50:00	0.00
4:55:00	0.00
5:00:00	0.00
5:05:00	0.00
5:10:00	0.01
5:15:00	0.07
5:20:00	0.17
5:25:00	0.43
5:30:00	1.22



<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
5:35:00	2.78
5:40:00	5.35
5:45:00	8.97
5:50:00	13.43
5:55:00	18.68
6:00:00	24.53
6:05:00	32.32
6:10:00	40.07
6:15:00	47.24
6:20:00	55.50
6:25:00	65.39
6:30:00	73.41
6:35:00	80.73
6:40:00	87.84
6:45:00	96.12
6:50:00	105.64
6:55:00	116.20
7:00:00	134.54
7:05:00	152.04
7:10:00	186.26
7:15:00	209.00
7:20:00	230.13
7:25:00	247.03
7:30:00	262.91
7:35:00	277.07
7:40:00	288.37

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
7:45:00	308.81
7:50:00	326.29
7:55:00	341.48
8:00:00	349.29
8:05:00	362.02
8:10:00	380.23
8:15:00	400.25
8:20:00	418.44
8:25:00	433.82
8:30:00	456.44
8:35:00	468.93
8:40:00	467.11
8:45:00	452.96
8:50:00	441.19
8:55:00	441.60
9:00:00	452.12
9:05:00	503.11
9:10:00	534.78
9:15:00	550.64
9:20:00	561.25
9:25:00	569.91
9:30:00	566.27
9:35:00	575.66
9:40:00	591.36
9:45:00	597.67
9:50:00	599.28

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
9:55:00	604.04
10:00:00	600.09
10:05:00	590.90
10:10:00	593.59
10:15:00	611.16
10:20:00	643.97
10:25:00	646.06
10:30:00	642.35
10:35:00	678.23
10:40:00	698.82
10:45:00	706.36
10:50:00	696.45
10:55:00	700.19
11:00:00	696.35
11:05:00	704.96
11:10:00	701.63
11:15:00	699.02
11:20:00	702.77
11:25:00	702.07
11:30:00	705.22
11:35:00	705.42
11:40:00	703.48
11:45:00	696.60
11:50:00	691.25
11:55:00	682.08
12:00:00	685.60

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
12:05:00	662.53
12:10:00	657.97
12:15:00	653.06
12:20:00	644.06
12:25:00	638.17
12:30:00	634.55
12:35:00	628.53
12:40:00	629.40
12:45:00	609.63
12:50:00	591.94
12:55:00	572.25
1:00:00	577.10
1:05:00	565.77
1:10:00	563.90
1:15:00	546.11
1:20:00	541.00
1:25:00	533.01
1:30:00	528.64
1:35:00	513.66
1:40:00	491.44
1:45:00	472.78
1:50:00	460.74
1:55:00	447.51
2:00:00	433.67
2:05:00	423.09
2:10:00	409.10

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
2:15:00	398.45
2:20:00	393.79
2:25:00	374.77
2:30:00	362.99
2:35:00	345.43
2:40:00	333.61
2:45:00	316.74
2:50:00	300.23
2:55:00	284.16
3:00:00	275.75
3:05:00	264.29
3:10:00	251.88
3:15:00	245.22
3:20:00	238.41
3:25:00	223.61
3:30:00	208.06
3:35:00	193.96
3:40:00	172.25
3:45:00	159.99
3:50:00	138.87
3:55:00	123.85
4:00:00	105.55
4:05:00	91.46
4:10:00	84.58
4:15:00	78.87
4:20:00	71.44

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
4:25:00	65.17
4:30:00	58.90
4:35:00	53.19
4:40:00	48.05
4:45:00	42.73
4:50:00	37.92
4:55:00	33.20
5:00:00	28.40
5:05:00	23.70
5:10:00	18.75
5:15:00	14.27
5:20:00	10.58
5:25:00	7.71
5:30:00	5.29
5:35:00	3.33
5:40:00	2.05
5:45:00	1.17
5:50:00	0.62
5:55:00	0.22
6:00:00	0.03
6:05:00	0.01
6:10:00	0.00
6:15:00	0.00
6:20:00	0.00
6:25:00	0.00
6:30:00	0.00

**C3. Rata – Rata Radiasi Matahari Selama 3 Bulan**  
(April - Juni)

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
4:00:00	0.00
4:05:00	0.00
4:10:00	0.00
4:15:00	0.00
4:20:00	0.00
4:25:00	0.00
4:30:00	0.00
4:35:00	0.00
4:40:00	0.00
4:45:00	0.00
4:50:00	0.00
4:55:00	0.00
5:00:00	0.00
5:05:00	0.00
5:10:00	0.00
5:15:00	0.00
5:20:00	0.01
5:25:00	0.25
5:30:00	0.93
5:35:00	2.25
5:40:00	4.56
5:45:00	8.05
5:50:00	12.19
5:55:00	17.34

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
6:00:00	23.66
6:05:00	31.69
6:10:00	38.05
6:15:00	44.76
6:20:00	53.36
6:25:00	64.08
6:30:00	72.50
6:35:00	77.18
6:40:00	83.16
6:45:00	87.34
6:50:00	88.53
6:55:00	94.28
7:00:00	111.68
7:05:00	126.61
7:10:00	180.16
7:15:00	212.62
7:20:00	239.41
7:25:00	255.97
7:30:00	272.60
7:35:00	284.36
7:40:00	300.74
7:45:00	324.43
7:50:00	343.48
7:55:00	359.86

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
8:00:00	359.75
8:05:00	373.88
8:10:00	391.72
8:15:00	413.58
8:20:00	432.68
8:25:00	449.61
8:30:00	480.62
8:35:00	492.61
8:40:00	456.46
8:45:00	415.62
8:50:00	394.97
8:55:00	384.96
9:00:00	386.42
9:05:00	464.31
9:10:00	516.71
9:15:00	534.89
9:20:00	541.73
9:25:00	543.51
9:30:00	537.69
9:35:00	547.95
9:40:00	572.47
9:45:00	586.01
9:50:00	587.69
9:55:00	582.70
10:00:00	591.62
10:05:00	588.07

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
10:10:00	596.43
10:15:00	589.11
10:20:00	605.34
10:25:00	627.75
10:30:00	609.88
10:35:00	649.04
10:40:00	706.19
10:45:00	719.48
10:50:00	695.13
10:55:00	687.93
11:00:00	696.24
11:05:00	707.32
11:10:00	707.48
11:15:00	703.36
11:20:00	710.50
11:25:00	703.54
11:30:00	695.75
11:35:00	698.09
11:40:00	700.40
11:45:00	691.73
11:50:00	663.74
11:55:00	658.39
12:00:00	650.85
12:05:00	623.07
12:10:00	625.28
12:15:00	620.04

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
12:20:00	617.37
12:25:00	609.60
12:30:00	599.35
12:35:00	588.59
12:40:00	596.05
12:45:00	577.39
12:50:00	565.87
12:55:00	539.88
1:00:00	542.79
1:05:00	524.88
1:10:00	523.30
1:15:00	511.82
1:20:00	499.47
1:25:00	498.68
1:30:00	498.30
1:35:00	486.10
1:40:00	464.78
1:45:00	438.13
1:50:00	430.13
1:55:00	436.01
2:00:00	420.66
2:05:00	402.58
2:10:00	390.86
2:15:00	382.79
2:20:00	379.74
2:25:00	359.74

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
2:30:00	350.23
2:35:00	329.04
2:40:00	322.88
2:45:00	312.03
2:50:00	290.67
2:55:00	276.89
3:00:00	271.50
3:05:00	258.54
3:10:00	251.18
3:15:00	242.69
3:20:00	232.94
3:25:00	217.60
3:30:00	191.44
3:35:00	175.21
3:40:00	148.23
3:45:00	129.77
3:50:00	101.55
3:55:00	87.18
4:00:00	81.48
4:05:00	74.40
4:10:00	69.57
4:15:00	66.07
4:20:00	61.29
4:25:00	56.18
4:30:00	51.31
4:35:00	45.21

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
4:40:00	39.78
4:45:00	34.94
4:50:00	30.30
4:55:00	26.10
5:00:00	21.14
5:05:00	16.29
5:10:00	11.27
5:15:00	7.01
5:20:00	3.72
5:25:00	1.80
5:30:00	0.64
5:35:00	0.05
5:40:00	0.00
5:45:00	0.00
5:50:00	0.00
5:55:00	0.00
6:00:00	0.00
6:05:00	0.00
6:10:00	0.00





**LAMPIRAN D**  
**JADWAL *SOLAR NOON* KOTA SURABAYA**

	<b>Jan</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Apr</b>
<b>1</b>	11:32:22	11:42:22	11:41:03	11:32:34
<b>2</b>	11:32:50	11:42:29	11:40:51	11:32:17
<b>3</b>	11:33:18	11:42:36	11:40:38	11:31:59
<b>4</b>	11:33:45	11:42:42	11:40:25	11:31:42
<b>5</b>	11:34:12	11:42:47	11:40:12	11:31:25
<b>6</b>	11:34:38	11:42:51	11:39:55	11:31:08
<b>7</b>	11:35:04	11:42:55	11:39:43	11:30:51
<b>8</b>	11:35:29	11:42:57	11:39:28	11:30:35
<b>9</b>	11:35:54	11:42:59	11:39:13	11:30:18
<b>10</b>	11:36:19	11:43:00	11:38:58	11:30:03
<b>11</b>	11:36:43	11:43:01	11:38:42	11:29:47
<b>12</b>	11:37:06	11:43:00	11:38:26	11:29:32
<b>13</b>	11:37:28	11:42:59	11:38:10	11:29:17
<b>14</b>	11:37:50	11:42:57	11:37:53	11:29:02
<b>15</b>	11:38:12	11:42:54	11:37:36	11:28:48
<b>16</b>	11:38:33	11:42:51	11:37:19	11:28:34
<b>17</b>	11:38:53	11:42:46	11:37:02	11:28:20
<b>18</b>	11:39:12	11:42:42	11:36:45	11:28:07
<b>19</b>	11:39:30	11:42:36	11:36:27	11:27:54
<b>20</b>	11:39:48	11:42:30	11:36:10	11:27:44
<b>21</b>	11:40:05	11:42:23	11:35:52	11:27:29
<b>22</b>	11:40:22	11:42:15	11:35:34	11:27:18
<b>23</b>	11:40:37	11:42:07	11:35:16	11:27:07
<b>24</b>	11:40:52	11:41:58	11:34:58	11:26:56

	Jan	Feb	Mar	Apr
<b>25</b>	11:41:06	11:41:49	11:34:40	11:26:46
<b>26</b>	11:41:20	11:41:39	11:34:22	11:26:36
<b>27</b>	11:41:32	11:41:29	11:34:04	11:26:27
<b>28</b>	11:41:44	11:41:18	11:33:46	11:26:18
<b>29</b>	11:41:54	11:41:10	11:33:29	11:26:10
<b>30</b>	11:42:04		11:33:10	11:26:03
<b>31</b>	11:42:13		11:32:52	

	May	Jun	Jul	Aug
<b>1</b>	11:25:56	11:26:47	11:32:51	11:35:13
<b>2</b>	11:25:49	11:26:57	11:33:02	11:35:09
<b>3</b>	11:25:43	11:27:07	11:33:13	11:35:04
<b>4</b>	11:25:38	11:27:18	11:33:24	11:34:58
<b>5</b>	11:25:33	11:27:28	11:33:35	11:34:52
<b>6</b>	11:25:28	11:27:39	11:33:45	11:34:45
<b>7</b>	11:25:24	11:27:51	11:33:54	11:34:38
<b>8</b>	11:25:21	11:28:02	11:34:03	11:34:30
<b>9</b>	11:25:19	11:28:14	11:34:12	11:34:22
<b>10</b>	11:25:17	11:28:26	11:34:21	11:34:13
<b>11</b>	11:25:15	11:28:38	11:34:29	11:34:03
<b>12</b>	11:25:14	11:28:50	11:34:36	11:33:53
<b>13</b>	11:25:14	11:29:03	11:34:43	11:33:42
<b>14</b>	11:25:14	11:29:16	11:34:50	11:33:31
<b>15</b>	11:25:15	11:29:29	11:34:56	11:33:19
<b>16</b>	11:25:16	11:29:42	11:35:01	11:33:06
<b>17</b>	11:25:18	11:29:55	11:35:07	11:32:53

	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Aug</b>
<b>18</b>	11:25:20	11:30:08	11:35:11	11:32:40
<b>19</b>	11:25:23	11:30:21	11:35:15	11:32:26
<b>20</b>	11:25:27	11:30:34	11:35:18	11:32:12
<b>21</b>	11:25:31	11:30:47	11:35:21	11:31:57
<b>22</b>	11:25:35	11:31:00	11:35:23	11:31:47
<b>23</b>	11:25:41	11:31:13	11:35:25	11:31:26
<b>24</b>	11:25:46	11:31:26	11:35:26	11:31:10
<b>25</b>	11:25:52	11:31:38	11:35:27	11:30:53
<b>26</b>	11:25:59	11:31:51	11:35:27	11:30:36
<b>27</b>	11:26:06	11:32:03	11:35:26	11:30:19
<b>28</b>	11:26:13	11:32:16	11:35:25	11:30:01
<b>29</b>	11:26:21	11:32:28	11:35:23	11:29:43
<b>30</b>	11:26:30	11:32:40	11:35:20	11:29:25
<b>31</b>	11:26:39		11:35:17	11:29:06

	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dec</b>
<b>1</b>	11:28:53	11:18:25	11:12:21	11:17:56
<b>2</b>	11:28:28	11:18:06	11:12:20	11:18:19
<b>3</b>	11:28:08	11:17:47	11:12:20	11:18:43
<b>4</b>	11:27:48	11:17:28	11:12:20	11:19:07
<b>5</b>	11:27:28	11:17:10	11:12:22	11:19:32
<b>6</b>	11:27:08	11:16:52	11:12:24	11:19:57
<b>7</b>	11:26:47	11:16:34	11:12:28	11:20:23
<b>8</b>	11:26:27	11:16:17	11:12:32	11:20:49
<b>9</b>	11:26:06	11:16:01	11:12:37	11:21:16
<b>10</b>	11:25:45	11:15:45	11:12:43	11:21:43

	Sep	Oct	Nov	Dec
11	11:25:24	11:15:29	11:12:49	11:22:11
12	11:25:03	11:15:14	11:12:57	11:22:38
13	11:24:41	11:14:59	11:13:05	11:23:07
14	11:24:20	11:14:45	11:13:15	11:23:35
15	11:23:59	11:14:31	11:13:25	11:24:04
16	11:23:37	11:14:18	11:13:36	11:24:33
17	11:23:16	11:14:06	11:13:48	11:25:02
18	11:22:54	11:13:54	11:14:00	11:25:32
19	11:22:33	11:13:43	11:14:14	11:26:01
20	11:22:11	11:13:32	11:14:28	11:26:31
21	11:21:50	11:13:22	11:14:43	11:27:00
22	11:21:29	11:13:13	11:14:59	11:27:30
23	11:21:08	11:13:04	11:15:16	11:28:00
24	11:20:47	11:12:56	11:15:33	11:28:29
25	11:20:26	11:12:49	11:15:52	11:28:59
26	11:20:05	11:12:43	11:16:11	11:29:29
27	11:19:45	11:12:37	11:16:30	11:29:58
28	11:19:24	11:12:32	11:16:51	11:30:27
29	11:19:04	11:12:28	11:17:12	11:30:56
30	11:18:44	11:12:25	11:17:34	11:31:25
31		11:12:22		11:31:54

## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di kota Pekanbaru pada tanggal 24 Juli 1995 dari orang tua bernama Agus Dwiatma Priambodo dan Yeni Eliza. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Saat ini penulis bertempat tinggal di Jalan Wisma Kusuma Indah C102, Jatirahayu, Bekasi. Pada tahun 2007, penulis menyelesaikan pendidikan di SDIT Mutiara Duri dan melanjutkan pendidikan di SMPS Cendana Mandau hingga lulus pada tahun 2010. Pada tahun 2013, penulis menyelesaikan pendidikan di SMAS Cendana Mandau. Setelah lulus dari SMAS tersebut, penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS dan pada bulan Juli 2017, penulis menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “ANALISA UJI KELAYAKAN SISTEM PENJEJAK MATAHARI 2-AXIS 5-POSISI DENGAN MENGGUNAKAN *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*”. Bagi pembaca yang ingin menyampaikan kritik, saran, atau ingin berdiskusi dengan penulis dapat menghubungi melalui email pada [dwityonaufal@gmail.com](mailto:dwityonaufal@gmail.com)